

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу

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

1. Соответствие диссертации специальностям и отрасли науки

Диссертация Астрашаба Е.В. посвящена изучению структурно-фазовых превращений в материалах систем Fe-Al, (Fe-Cr-Ni)-Al и (Ni-Cr)-Al при получении износостойких и коррозионностойких покрытий для деталей машиностроения, а также разработке рекомендаций по повышению свойств покрытий.

Данная тематика относится к техническим наукам и специальности 05.16.09 – материаловедение (машиностроение).

Указанные исследования, содержание диссертации в целом, а также положения выносимые на защиту, соответствуют области исследований: п. III.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. III.2 «Закономерности изменения механических, физических, физико-химических и других эксплуатационных свойств материалов в условиях их практического использования в определенных областях, и взаимосвязь этих изменений с изменением их фазового и химического состава»; п. III.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. III.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. III.12 «Установление закономерностей физико-химических и физико-механических процессов, происходящих на границах раздела в гетерогенных структурах» (Приказ Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 18 декабря 2017 г. № 292).

2. Актуальность темы диссертации

Композиционные материалы (КМ) на основе систем Fe-Al и Ni-Al, обладают высокой коррозионной стойкостью, жаростойкостью, износостойкостью, удельными прочностными свойствами, а также возможностью образования интерметаллидов при низких температурах.

Однако, некоторые образующиеся (высокоалюминиевые) интерметаллиды обладают высокой хрупкостью, что приводит к снижению рабочих характеристик КМ. В связи с этим, необходимо иметь возможность управления структурой и фазовым составом КМ с целью контроля получаемых свойств.

Известные методы получения КМ (горячей или холодной прокатки, прессования и диффузионного спекания, сварки взрывом, пропитки, литья, пайки) являются сложными, трудоемкими, энергозатратными и не позволяют восстанавливать разрушенные поверхности деталей. Перспективным, высокопроизводительным и экономически эффективным методом получения КМ является метод высокоскоростной металлизации.

В связи с этим, актуальным и перспективным направлением научно-технических исследований является изучение формирования структуры и фазового состояния композиционных покрытий при получении износостойких и коррозионностойких покрытий для деталей машиностроения, а также разработке рекомендаций по повышению свойств покрытий при их отжиге.

3. Степень новизны результатов диссертации и научных положений, выносимых на защиту

Новизна результатов, представленных в диссертации и научных положений, выносимых на защиту, заключается в:

– установлении закономерностей 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 композиционные 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;

– установлении образования 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, AlFe₃ и Al₁₃Fe₄, Al₃Fe, Al₅Fe₂ (до ≈ 60 об.%), а также AlNi, AlNi₃ и Al₃Ni, Al₃Ni₂ (до ≈ 50 об.%);

– установлении влияния 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 Al₁₃Fe₄, Al₃Fe, Al₅Fe₂ и Al₃Ni, Al₃Ni₂, отличающихся повышенной хрупкостью, и повысить

содержание фаз AlFe , AlFe_3 и AlNi , AlNi_3 , что приводит к увеличению твердости, микротвердости, адгезионной прочности и износостойкости композиционных покрытий;

– разработке экспериментально-статистических математических моделей влияния режимов отжига на износостойкость композиционных покрытий на основе систем $(\text{Fe-Cr-Ni})\text{-Al}$ и $(\text{Ni-Cr})\text{-Al}$, устанавливающие влияние температурно-временных режимов отжига на их триботехнические свойства и раскрывающие взаимосвязь интенсивностей изнашивания при трении без смазочного материала и со смазочным материалом с режимами отжига покрытий, что позволяет выбирать режимы отжига покрытий для достижения их повышенной износостойкости;

Таким образом, научные предложения, выносимые на защиту, являются новыми, а представленные результаты получены впервые.

4. Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Изложенные в диссертационной работе результаты исследований достоверны. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в работе, основаны на результатах взаимодополняющих современных экспериментальных исследований. Обработка полученных результатов корректна и логически обоснована. Основные научные результаты диссертации нашли отражение в опубликованных научных работах в изданиях из перечня ВАК Республики Беларусь, а также апробированы на международных научных конференциях.

5. Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации с указанием рекомендаций по их использованию

Тематика выполненных в работе исследований соответствует приоритетному направлению научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021-2025 годы, раздел 4 Машиностроение, машиностроительные технологии, приборостроение и инновационные материалы: композиционные и многофункциональные материалы (Указ Президента Республики Беларусь от 07.05.2020 № 156). Работа выполнена в рамках ряда заданий государственных программ научных исследований.

Научная значимость работы состоит в существенном расширении научных знаний в области структурно-фазовых превращений в композиционных покрытиях на основе систем Fe-Al , $(\text{Fe-Cr-Ni})\text{-Al}$ и $(\text{Ni-Cr})\text{-Al}$ при их получении и последующем отжиге.

Практическая значимость работы заключается в разработке относительно дешевых износо- и коррозионно-стойких композиционных покрытий, а также разработке рекомендаций по выбору материалов, для высокоскоростной металлизации композиционных покрытий включающих алюминий и повышению их эксплуатационных свойств. На основании

разработанных рекомендаций разработан типовой технологический процесс напыления и отжига композиционных покрытий, который позволяет формировать композиционные покрытия на основе систем железо-алюминий и никель-алюминий с повышенной износо- и коррозионной стойкостью.

Социальная значимость состоит в повышении конкурентоспособности использования высокопроизводительного и экономически эффективного метода высокоскоростной металлизации, позволяющего восстанавливать изношенные детали. Кроме того, результаты проведенных исследований могут быть применены в учебном процессе в учреждениях образования при подготовке специалистов технического профиля различного уровня.

6. Опубликованность результатов диссертации в научной печати

Основные результаты работы опубликованы в рецензируемых научных журналах, включая авторитетные зарубежные, обсуждены на республиканских и международных научных конференциях. Общее количество публикаций по теме диссертации составляет 14 научных работ, в том числе 6 статей в изданиях, входящих в перечень ВАК Республики Беларусь (общим объемом 1,8 авторских листа), 5 статей в научных журналах иностранных государств, 3 статьи в сборниках научных трудов и конференций. Получен 1 патент на изобретение в Евразийском патентном ведомстве. Публикации отражают содержание диссертационной работы, основные положения, выносимые на защиту и сделанные выводы.

7. Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК

Диссертация и автореферат диссертации Асташаба Е.В. оформлены в соответствии с требованиями инструкции ВАК, содержат все необходимые разделы, включая перечень сокращений и обозначений, введение, общую характеристику работы, основную часть из пяти глав, заключение, список использованных источников и приложения. Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации, представленные данные подтверждают выводы, сделанные соискателем в диссертационной работе. Текст изложен литературным, технически грамотным языком, без существенных стилистических погрешностей.

8. Замечания по диссертации

1. Высокоскоростная металлизация композиционных покрытий Fe-Al проводилась с использованием таких материалов, как 08Г2С и АК12. В данных материалах в достаточном количестве содержится кремний, который присутствуя в сплавах влияет на механические свойства, коррозионную стойкость и жаростойкость. Однако в работе не проведен анализ по данному направлению. Нет предположений каким образом себя ведет и в состав каких соединений попадает кремний.

2. Некоторые утверждения в работе недостаточно корректны:

Стр. 48 В методике исследований автор ссылается на ГОСТ 9.912 с целью выбора в качестве коррозионного показателя средней условной скорости коррозии покрытий V_m . Данный ГОСТ относится к методам ускоренных испытаний на стойкость к питтинговой коррозии. В работе активно используется такой показатель, как удельная потеря массы, что не указано в методике. Нет обоснования использованию такой испытательной коррозионной среды как 10% водный раствор NaCl.

Стр. 58. При анализе коррозионного поведения газотермического покрытия из 08Г2С делается вывод о повышенном содержании оксидов в покрытии и их влиянии на снижение коррозионной стойкости материала. Можно предположить, что имеются в виду повышенное содержание FeO и Fe₃O₄, однако обоснование и пояснение к данному факту отсутствует.

3. При формулировке механизма 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 предполагается одновременное формирование интерметаллидных фаз. Проведен большой объем исследований результатов отжига для различных температур и одной длительности. Проведение аналогичного комплекса испытаний для различного времени выдержки позволило бы получить больше экспериментальной информации для обоснованного описания обсуждаемого механизма.

4. Не совсем удачная формулировка положений, выносимых на защиту, которая несколько затрудняет оценку полученных интересных научных результатов действительно важных установленных особенностей структурообразования.

Вышеуказанные замечания носят исключительно частный характер, не ставят под сомнение полученные научные результаты и не имеют принципиального значения для общей положительной оценки работы в целом.

9. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

Научная квалификация Астрашаба Евгения Викторовича соответствует ученой степени кандидата технических наук. Уровень выполнения экспериментов и их интерпретация, новизна и значимость полученных данных, сформулированные выводы, количество и уровень представленных публикаций позволяют сделать вывод, что Астрашаб Е.В. является оригинально мыслящим, квалифицированным специалистом в заявляемой области и достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – материаловедение (машиностроение).

10. Заключение

На основании вышеизложенного, обоснованным является вывод, что диссертационная работа Астрашаба Е.В. «Структурно-фазовые превращения в материалах систем Fe-Al, (Fe-Cr-Ni)-Al и (Ni-Cr)-Al при получении износостойких и коррозионностойких покрытий для деталей машиностроения» представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – материаловедение (машиностроение), выполнена на требуемом научном и методическом уровне, является законченным квалификационным исследованием и соответствует требованиям ВАК Беларуси, в частности пп. 19–26 «Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь».

Соискатель Астрашаб Е.В. заслуживает присуждения искомой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – материаловедение (машиностроение), за новые научно-обоснованные результаты, заключающиеся в:

– установлении особенностей формирования структуры и фазового состава композиционных газотермических покрытий на основе систем Fe-Al, (Fe-Cr-Ni)-Al и (Ni-Cr)-Al, состоящих в скоростной кристаллизации из расплавов переменной концентрации метастабильных пересыщенных растворов и промежуточных интерметаллидов при электродуговом напылении покрытия и последующем снижении содержания оксидов до 5-8 об.%, повышение коррозионной стойкости при распаде пересыщенных твердых растворов и вторичном образовании упрочняющих интерметаллидных фаз за счет протекания диффузионных процессов при отжиге покрытий;

– установлении механизма повышения триботехнических свойств композиционных покрытий на основе систем Fe-Al, (Fe-Cr-Ni)-Al и (Ni-Cr)-Al от температуры их отжига в интервале 500-700 °С и времени выдержки в течение 20-60 минут, состоящим в одновременном образовании интерметаллидных фаз AlFe, AlFe₃ и AlNi, AlNi₃, а также Al₁₃Fe₄, Al₃Fe, Al₅Fe₂ и Al₃Ni, Al₃Ni₂, расположенных в виде отдельных частиц, распределенных случайным образом в объеме покрытий, что обеспечивает повышение твердости до ≈ 1,3 раз, микротвердости до ≈ 1,8 раз, адгезионной прочности до ≈ 1,4 раз и износостойкости до ≈ 24 раз композиционных покрытий;

– получении и научной интерпретации экспериментально-статистической математической модели, описывающей зависимости интенсивностей массового и линейного изнашивания от температуры и продолжительности выдержки при отжиге композиционных покрытий, что позволило установить режимы отжига покрытий, обеспечивающие максимальную износостойкость покрытий состоящие 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 вносит существенный вклад в развитие научных представлений о структурно-фазовых превращениях и изменении защитных свойств в композиционных покрытиях систем Fe-Al, (Fe-Cr-Ni)-Al и (Ni-Cr)-Al при получении износ- и коррозионностойких газотермических покрытий, используемых при восстановлении и упрочнении деталей машиностроения, работающих в условиях коррозионного и абразивного воздействия.

Официальный оппонент
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Материаловедение
в машиностроении»
Белорусского национального
технического университета



Л.А. Астрейко



ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Асташаба Евгения Викторовича «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», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – материаловедение (машиностроение)

1. Соответствие диссертации специальностям и отрасли науки

Диссертация Асташаба Е.В. посвящена изучению структурно-фазовых превращений в материалах систем Fe-Al, (Fe-Cr-Ni)-Al и (Ni-Cr)-Al при получении износо- и коррозионностойких покрытий для деталей машиностроения, а также разработке рекомендаций по выбору материалов покрытий, режимов их отжига с целью повышения эксплуатационных свойств.

Тематика диссертационной работы относится к отрасли технических наук и соответствует специальности 05.16.09 – материаловедение (машиностроение).

Проведенные исследования, содержание диссертации в целом, а также положения, выносимые на защиту, соответствуют областям исследований (Приказ Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 18 декабря 2017 г. № 292):

п. III.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. III.2 «Закономерности изменения механических, физических, физико-химических и других эксплуатационных свойств материалов в условиях их практического использования в определенных областях, и взаимосвязь этих изменений с изменением их фазового и химического состава»;

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

2. Актуальность темы диссертации

В настоящее время изготовление и восстановление вышедших из строя различных деталей машин с использованием относительно дешевых и высокопроизводительных методов является все более актуальной задачей. Перспективным способом решения данной задачи является метод

высокоскоростной металлизации покрытий, который становится все более популярным, как в зарубежных странах, так и в странах СНГ. Важнейшим этапом при восстановлении и упрочнении деталей данным методом является выбор исходных проволочных материалов для формирования покрытий, определяющих уровень эксплуатационных свойств деталей. Одним из перспективных направлений формирования покрытий с высокой износостойкостью/коррозионной стойкостью, адгезионной прочностью и низкой пористостью является получение композиционных покрытий на основе систем Fe-Al и Ni-Al, путем одновременного распыления дешевых и широко распространенных сварочных проволок. Вместе с тем систематизированные данные по формированию структуры, фазового состава и свойств композиционных покрытий в процессе их получения методом высокоскоростной металлизации, а также при последующем отжиге отсутствуют.

В связи с этим тематика диссертационной работы, посвященной изучению процессов формирования структуры и фазового состава композиционных материалов при получении износо- и коррозионностойких покрытий для деталей машиностроения, а также разработке рекомендаций по повышению свойств покрытий при их отжиге, характеризуется высокой актуальностью.

3. Степень новизны результатов диссертации и научных положений, выносимых на защиту

Положения, выносимые на защиту, отличаются научной новизной и вносят существенный вклад в развитие методов инженерии поверхности. Новизна результатов, представленных в диссертации, и научных положений, выносимых на защиту, заключается в:

– установлении закономерностей 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 композиционные покрытия, содержащие фазы $AlFe$, $AlFe_3$ в системах Fe-Al, (Fe-Cr-Ni)-Al и фазы $AlNi$, $AlNi_3$ 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.

– обнаружении особенностей образования расплавов компонентов с переменным составом на стадии напыления композиционных покрытий на основе систем Fe-Al, (Fe-Cr-Ni)-Al и (Ni-Cr)-Al, приводящих 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.%).

– установлении влияния 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, и повысить содержание упрочняющих фаз AlFe , AlFe_3 и AlNi , AlNi_3 , что приводит к увеличению твердости, микротвердости, адгезионной прочности и износостойкости композиционных покрытий.

– разработке экспериментально-статистических математических моделей влияния режимов отжига на износостойкость композиционных покрытий на основе систем (Fe-Cr-Ni)-Al и (Ni-Cr)-Al, устанавливающих влияние температурно-временных режимов отжига на их триботехнические свойства и раскрывающих взаимосвязь интенсивностей изнашивания при трении в различных условиях с режимами отжига покрытий, что позволяет выбирать режимы отжига покрытий для достижения их повышенной износостойкости.

4. Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Изложенные в диссертационной работе результаты исследований достоверны. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в работе, основаны на результатах экспериментальных исследований. При их получении использовались современные методики исследований и оборудование. Основные научные результаты диссертации нашли отражение в опубликованных научных работах в изданиях из перечня ВАК Республики Беларусь и зарубежных научных журналах.

5. Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации с указанием рекомендаций по их использованию

Тематика выполненных в работе исследований соответствует приоритетному направлению научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021-2025 годы, раздел 4 Машиностроение, машиностроительные технологии, приборостроение и инновационные материалы: композиционные и многофункциональные материалы (Указ Президента Республики Беларусь от 07.05.2020 № 156). Работа выполнена в рамках ряда заданий государственных программ научных исследований.

Научная значимость работы заключается в установлении структурно-фазовых превращений в композиционных покрытиях на основе железа/никеля с алюминием, при их получении методом высокоскоростной металлизации и последующем отжиге.

Практическая значимость работы заключается в разработке рекомендаций по выбору материалов для формирования композиционных

покрытий, методом высокоскоростной металлизации, и по режимам последующего отжига покрытий. Разработке типового технологического процесса напыления и отжига покрытий, что позволяет получать относительно дешевые износ- и коррозионностойкие покрытия.

Социальная значимость состоит в повышении эффективности использования материальных ресурсов за счет повторного использования восстановленных деталей, методом высокоскоростной металлизации.

6. Опубликованность результатов диссертации в научной печати

Основные результаты диссертации опубликованы в 14 научных работах, в том числе 6 статей в изданиях, входящих в перечень ВАК Республики Беларусь, 5 статей в научных журналах иностранных государств (включенных в международные реферативные базы данных и системы цитирования), 3 статьи в сборниках научных трудов и конференций. Получен 1 патент на изобретение в Евразийском патентном ведомстве. Публикации отражают содержание диссертационной работы, положения выносимые на защиту и сделанные выводы.

7. Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК

Диссертация и автореферат диссертации Асташаба Е.В. оформлены в соответствии с требованиями ВАК Республики Беларусь. Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации, представленные в работе экспериментальные данные подтверждают выводы, сделанные соискателем в диссертации.

8. Замечания по диссертации

1. В диссертационной работе не обсуждено, возможно ли получить композиционное покрытие, состоящее из интерметаллидного соединения одного стехиометрического состава. Возможна ли полная гомогенизация состава покрытия при его отжиге?

2. В работе не представлено, будет ли оказывать влияние диаметр используемых при напылении проволочных материалов на свойства композиционных покрытий.

3. При описании диффузионного взаимодействия между частицами Fe-Al композиционного покрытия используется термин «железные частицы» (с. 54, 81), при этом, покрытие состоит из стальных и алюминиевых частиц переменного состава.

4. Не указано, справедлива ли представленная схема структурно-фазовых превращений (с. 82) для (Fe-Cr-Ni)-Al и (Ni-Cr)-Al композиционных покрытий

5. Следовало бы сравнить эксплуатационные свойства полученных композиционных покрытий со свойствами композиционных покрытий на основе других систем.

Вышеуказанные замечания не ставят под сомнение полученные результаты и не имеют принципиального значения для общей положительной оценки работы в целом.

9. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

Научная квалификация Астрашаба Евгения Викторовича соответствует ученой степени кандидата технических наук. Уровень выполнения экспериментов, обсуждение и анализ полученных результатов, а также сформулированные выводы позволяют заключить, что Астрашаб Е.В. является квалифицированным специалистом в заявляемой области и достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – материаловедение (машиностроение).

10. Заключение

Диссертационная работа Астрашаба 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» представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – материаловедение (машиностроение), выполнена на требуемом научном и методическом уровне, является завершенным квалификационным исследованием и соответствует требованиям ВАК Беларуси, в частности пп.19–26 «Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь».

Соискатель Астрашаб Е.В. заслуживает присуждения искомой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – материаловедение (машиностроение), за новые научно-обоснованные результаты, заключающиеся в:

– установлении закономерностей 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 проволок с последующей реакционной диффузией между частицами сплавов при отжиге, что обеспечивает снижение содержания оксидов до 5-8 об.%, повышение коррозионной стойкости композиционных покрытий до 4,2 раз и образование интерметаллидных фаз $AlFe_3$, $AlNi$;

– установлении механизма 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, отличающегося 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;

– определении триботехнических характеристик при трении без смазочного материала и со смазочным материалом для композиционных покрытий на основе систем Fe-Al, (Fe-Cr-Ni)-Al и (Ni-Cr)-Al в исходном состоянии и после отжига в интервале температур 500-700 °С в течение 20–60 минут;

– установлении режимов отжига композиционных покрытий обеспечивающих их максимальную износостойкость и включающих отжиг Fe-Al композиционного покрытия при температуре 530 °С в течение 60 минут, отжиг (Fe-Cr-Ni)-Al композиционного покрытия при температуре 580-590 °С в течение 40-45 минут и отжиг (Ni-Cr)-Al композиционного покрытия при температуре 630-640 °С в течение 40-50 минут;

что в совокупности имеет важное значение для развития представлений о структурно-фазовых превращениях в износо- и коррозионностойких композиционных покрытиях на основе систем Fe-Al, (Fe-Cr-Ni)-Al и (Ni-Cr)-Al при их получении и отжиге, что позволяет формировать покрытия с пониженным содержанием оксидов (до 5-8 об.%), а также с увеличенной до 40 % адгезионной прочностью, до 4,2 раз коррозионной стойкостью и повышенной до ≈ 24 раз износостойкостью, в целях упрочнения и восстановления изношенных деталей машиностроения.

Официальный оппонент,
академик НАН Беларуси, доктор
технических наук, заведующий
Отраслевой лабораторией ВБОиТК
государственного научного
учреждения «Физико-технический
институт Национальной
академии наук Беларуси»

А.П. Ласковнѳв

Ласковнѳв Александр Александрович
Дир. спец. по охране *Докл. А.П. Ласковнѳв*