

## ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата технических наук

*Дуракова Василия Григорьевича*

на диссертацию Михайлова Андрея Владимировича

на тему: «Разработка технологии поверхностного легирования хромоникелевыми комплексами из среды легкоплавких металлов с использованием печей с защитной атмосферой», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. – Материаловедение.

### 1. Актуальность темы исследования

Тема исследования, представленная автором, несомненно, является актуальной. В таких отраслях как атомная, химическая, нефтехимическая и других, где работа оборудования связана с агрессивными средами, остро стоит задача повышения ресурса работы узлов и механизмов. Замена изношенного оборудования порой требует остановки процесса производства, что не всегда возможно в силу технических условий. Метод создания защитных покрытий, разрабатываемый диссертантом, позволяет наносить коррозионностойкие покрытия на детали любой формы как снаружи, так и изнутри изделия. Это выгодно его отличает от методов наплавки или напыления защитных покрытий, где форма детали имеет немалое значение.

### 2. Научная новизна диссертации

Структура диссертации достаточно логична и раскрывает в полном объеме цель, задачи, новизну работы и полученные результаты. К основным положениям научной новизны представленной диссертационной работы следует отнести:

- комплексный метод защиты от окисления обрабатываемой детали и транспортного расплава за счет использования инертного газа и высокотемпературного флюса. Дополнительно флюс очищает поверхность обрабатываемой детали от окислов в процессе погружения детали в транспортный расплав;
- научно обоснованные и экспериментально подтвержденные результаты одновременного повышения коррозионной и износостойкости диффузионных слоев на основе Cr-Ni составов, полученных по технологии поверхностного легирования из жидкометаллической среды.

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-180 от 01.09.23  
АУ УС

### **3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций**

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, содержащихся в диссертации А.В. Михайлова, определяется логической структурой исследования. Автор последовательно исследует влияние легирующих элементов как по отдельности, так и в совокупности на эксплуатационные характеристики металлоизделий, определяет наиболее эффективные элементы для одновременного повышения стойкости к коррозии и износу. А.В. Михайлов разрабатывает основы технологии диффузионной металлизации Cr-Ni составами из среды расплавов легкоплавких металлов при использовании открытых термических печей с защитой от окисления высокотемпературными флюсами и инертным газом, проводит экспериментальные исследования по предлагаемой технологии и дает оценку качества получаемых хромоникелевых слоев и их эксплуатационных характеристик.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждена апробацией результатов исследования на научно-практических конференциях, полным отражением основных результатов диссертационной работы в опубликованных автором научных трудах. Научные положения, сформулированные в работе, являются обоснованными.

Достоверность результатов исследования обеспечена использованием современных методов анализа покрытий, стандартных процедур определения качества покрытий, микротвердости, коррозионной стойкости и элементного состава. Применение статистической обработки данных микротвердости позволяют считать результаты объективными.

Выводы, сделанные автором, соответствуют поставленной цели и задачам исследования.

### **4. Научные результаты и их ценность**

Основными научными результатами работы А.В. Михайлова являются:

- возможность получения качественного диффузионного покрытия за счет применения в качестве защиты высокотемпературного флюса и инертного газа в едином технологическом цикле процесса диффузионного насыщения;
- возможность получения диффузионного покрытия, обладающего коррозионной стойкостью наряду с износостойкостью.

Исследование, проведенное А.В. Михайловым, выполнено на высоком методическом уровне, полученные результаты, выводы и рекомендации оригинальны.

Результаты и выводы представленной работы создают базу для новых научных исследований в области разработки технологии диффузионного насыщения поверхности для повышения эксплуатационных характеристик деталей.

Результаты диссертационного исследования, его основные положения, идеи и выводы нашли отражение в девяти печатных работах, в том числе в двух статьях в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в двух статьях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus; получено два патента РФ на изобретения.

## **5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации**

Теоретическая значимость полученных результатов диссертационного исследования состоит в развитии положений по совершенствованию процесса диффузионного насыщения стальных изделий легирующими элементами из жидкометаллической среды с одновременным использованием для защиты от окисления высокотемпературных флюсов и инертных газов. Показано, что совместное применение защитной инертной газовой среды и высокотемпературных флюсов в рабочем пространстве открытой термической печи позволяет исключить окисление обрабатываемых изделий, транспортной среды и технологического оборудования, тем самым обеспечивая получение качественных диффузионных слоев на поверхности обрабатываемых изделий. В ходе работы установлено, что поверхностное легирование Cr-Ni составом наряду с коррозионной стойкостью также повышает износостойкость.

Практическая значимость результатов заключается в возможности их использования при проектировании, разработке и производстве оборудования, работающего в условиях высоко коррозионной среды, в том числе, содержащей сероводород. В случае, когда к некоторым деталям и узлам этого оборудования наряду с коррозионной стойкостью предъявляются требования высоких значений прочности и твердости. Практическая значимость исследования подтверждена актом о внедрении в деятельность ООО «Первое Проектное Бюро» в части деятельности лаборатории неразрушающего контроля и проектирования металлоизделий, эксплуатируемых в агрессивных условиях повышенного износа и коррозии.

Результаты диссертации могут быть использованы в учебном процессе по дисциплинам, связанным с коррозионной защитой деталей машин и механизмов и им подобным, а также при курсовом и дипломном проектировании.

## **6. Рекомендации по использованию результатов работы**

Результаты диссертационного исследования, а именно разработанная технология поверхностного легирования хромоникелевым сплавом из среды легкоплавких металлов, рекомендуются к внедрению в производственные мощности предприятий, производящих металлоизделия, детали и элементы машин и агрегатов, применяемых в условиях повышенного износа и эксплуатируемых в агрессивных коррозионных средах. В частности, разработанная диссертантом технология может быть полезна предприятиям, производящим оборудование для химической, нефтехимической и нефтедобывающей отраслей.

Также стоит отметить, что созданный в рамках подготовки диссертации экспериментальный стенд и вышеупомянутая технология могут быть успешно использованы в образовательном процессе на выпускающей кафедре соискателя для проведения лабораторных работ по химико-термической обработке металлов.

## **7. Замечания и вопросы по работе**

Необходимо сделать следующие замечания по работе:

1. Несмотря на доказанность эффективности примененного технического решения одновременного использования флюса и аргона для защиты от окисления, автор не дает экономической оценки стоимости такого решения по сравнению с вакуумным способом защиты.
2. Вызывает сомнение утверждение, что создание ювенильной поверхности возможно путём обезжиривания бензином или иным органическим растворителем. Ювенильные поверхности на металле получить непросто, для этого используют методы скола, нагревание в высоком вакууме и др. В этих условиях над металлической поверхностью наблюдается облако непрерывно движущихся свободных электронов, покидающих металл и снова возвращающихся в него. Протирка органическим растворителем явно недостаточна для создания ювенильной поверхности.
3. Не совсем корректен использованный автором термин «истирающие нагрузки». Правильнее было бы в соответствии с ГОСТом 27674-88 использовать термины, характеризующие вид износа, например, абразивный, коррозионно-механический или другой. Если судить о сфере применения диффузионных покрытий, предложенной автором, то в нефтехимической, химической, атомной, пищевой отраслях абразивный износ отсутствует или он вносит незначительный вклад. Требования абразивной износостойкости деталей оборудования возникают при газо- или нефтедобыче. Дополнительно в этом случае накладывается влияние сероводорода. И тогда встает

вопрос о стойкости изделий с покрытиями к сероводородному разрушению. Но этот вопрос в диссертации не обсуждается.

4. Также возникает вопрос почему автор выбрал склерометрию для определения износостойкости покрытий. Метод склерометрии с некоторой натяжкой можно отнести к абразивному изнашиванию, хотя по определению склерометрия (также царапание на микро-/наномасштабном уровне (англ. micro/nanoscale scratching)) — процесс измерения твёрдости методами царапания (формирования микроборозд) различных материалов и покрытий при внедрении индентора на глубину нескольких микро- или нанометров. Твёрдость с износостойкостью связана, но не всегда эта зависимость прямая. На износостойкость ещё влияет и фазовый состав материала.
5. Есть некоторые опечатки в тексте диссертации:

Стр.52 ГОСТ 276774-88, следует писать ГОСТ 27674-88.

Стр. 95, 96. Скорость к коррозии, следует писать Скорость коррозии.

Указанные замечания не снижают значимости полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования.

## **8 Заключение по диссертации**

Достоинства работы заключаются в следующем:

Автором проведен достаточно полный литературный обзор по теме диффузионных покрытий, наносимых из среды легкоплавких металлов. Представляет интерес оборудование и технические решения процесса диффузионной металлизации из среды легкоплавких металлов, приведенные в литературном обзоре. Является привлекательным моментом возможность наносить защитные покрытия на детали сложной формы, в том числе на внутренние поверхности. Разработана и подробно описана оригинальная методика процесса создания защитных покрытий, используя защиту от окисления ванны жидкого сплава свинец-висмут с помощью флюса и обрабатываемых деталей с помощью аргоновой среды. Очень интересно, что всего при 950 °С автору удается получить покрытия требуемой толщины за относительно непродолжительное время обработки (всего 4 часа). Проведенные исследования и испытания покрытий доказывают правильность выбранных составов и технологии обработки.

Диссертация является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно на высоком научном уровне. В работе приведены научные результаты, позволяющие ее квалифицировать как разработку научно обоснованных технических решений, внедрение которых вносит значительный вклад в решение важнейших задач промышленности и ускорение экономического роста России, представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу на актуальную тему.

Новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для российской науки и практического применения в области антикоррозионной защиты. Работа базируется на достаточном числе исходных данных, примеров и экспериментальных данных. Она написана доходчиво, грамотно и аккуратно оформлена. В заключение каждой главы сделаны четкие выводы. Выводы и рекомендации обоснованы.

Автореферат в целом соответствует основному содержанию диссертации.

Диссертация «Разработка технологии поверхностного легирования хромоникелевыми комплексами из среды легкоплавких металлов с использованием печей с защитной атмосферой», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. - Материаловедение полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор Михайлов Андрей Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. - Материаловедение.

Официальный оппонент,

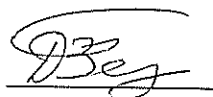
технолог ООО «НПК ТЭТА»,

Кандидат технических наук

тел.: 8 (988) 351-36-80

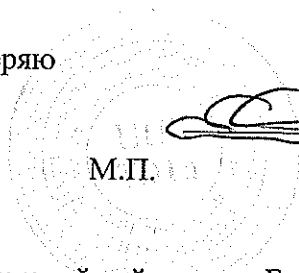
e-mail: dana0863@mail.ru

Дата подписания отзыва «18» 08 .2023г.



Дураков Василий Григорьевич

Подпись Дуракова В.Г. заверяю



Директор ООО «НПК ТЭТА»

Семенов Г.В.

634570, Томская область, Томский район, село Богашево, ул. Киевская, 27,

Общество с ограниченной ответственностью «Научно производственная компания Томские электронные технологии», ООО «НПК ТЭТА»

тел.: 8 (3822) 94-30-00; e-mail: info@tetacom.ru.