

## ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора физико-математических наук, профессора

*Атрошенко Светланы Алексеевны*

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 диссертации

Современное машиностроение характеризуется тяжелыми условиями эксплуатации деталей машин, связанными с высоким уровнем действующих напряжений, износом, вибрациями, широким температурным интервалом, агрессивными средами и т.п. Поэтому диссертационная работа Михайлова А.В., направленная на разработку новых технических решений поверхностного легирования, позволяющих создать целый комплекс особых свойств на поверхности деталей машин, состоящего из высокой поверхностной твердости, износостойкости, высокой коррозионной стойкости, является несомненно актуальной.

*Структура и объем работы:*

Работа состоит из оглавления, введения, 4-х глав с выводами по каждой из них, заключения и выводов по работе, списка литературы из 126 наименований и приложений. Работа изложена на 121 странице машинописного текста, содержит 25 рисунков, 21 таблицу и 3 приложения.

### 2. Научная новизна диссертации

1. Впервые для защиты от окисления используется вместо вакуумирования одновременный продув рабочего пространства печи инертным газом и защита транспортного расплава флюсом для получения диффузионных комплекснолегированных слоев из среды расплавов легкоплавких металлов.
2. Научно обосновано и экспериментально доказано, что полученные по технологии поверхностного легирования из жидкометаллической среды диффузионные слои на основе Cr-Ni комплексов обеспечивают повышение стойкости стальных изделий к коррозии и износу.

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

Научные положения, выводы и рекомендации достаточно обоснованы. Выдвигаемые в диссертации Михайлова А.В. научные положения и выводы подтверждаются результатами экспериментов, а также полученными патентами на изобретения.

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-18.08.23 9-158  
АУ ВС

В работе использованы теоретические и экспериментальные методы исследования, проведен обзор литературы, на основе которого выявлены проблемы и пути решения борьбы с коррозией и износом металлических изделий, на основе этого определен круг необходимых для решения задач. Разработан и использован в работе экспериментальный стенд для поверхностного легирования из среды расплавов легкоплавких металлов.

Достоверность основана на использовании стандартизованных экспериментальных методов определения характеристик полученных поверхностных слоев и подтверждается сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований.

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

На мой взгляд самыми ценными научными результатами являются:

1. Автором предложена идея перехода от вакуумного оборудования к системам продувки реакционной камеры термических печей инертным газом с применением высокотемпературного флюса
2. Диссертантом разработан, изготовлен и использован экспериментальный стенд для поверхностного легирования стальных изделий из среды расплавов легкоплавких металлов с системой защиты от высокотемпературного окисления
3. На основе разработанных научных положений Михайловым А.В. проведены эксперименты по образованию диффузионных Cr-Ni слоев на образцах конструкционной стали и получены однородные беспористые диффузионные слои, повторяющие геометрию изделий
4. Автором определены эксплуатационные характеристики полученных слоев и установлено, что лучшие результаты получаются на слоях с комплексным Cr-Ni легированием, при этом микротвердость этих слоев оказывается выше, чем у изделия из стали 20 в 1,5 раза, а износостойкость в 2 раза, а также в несколько раз повышается коррозионная стойкость в различных агрессивных средах.

Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 9 печатных работах, в том числе в 2 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 2 статьях - в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования (Scopus); получено 2 патента на изобретение.

Материалы работы прошли апробацию на 8 международных и всероссийских конференциях, форумах и выставках.

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

Диссертантом создано новое научно обоснованное технологическое решение повышения эксплуатационных характеристик стальных изделий формированием на их основе

диффузионных комплексных Cr-Ni металлических покрытий в расплавах легкоплавких металлов с использованием открытых термических печей с системой продува инертным газом и защитной транспортной расплава высокотемпературным флюсом, имеющее существенное значение для развития отечественного машиностроения.

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

Результаты диссертационной работы могут быть использованы при защите поверхности стальных изделий от износа и коррозии, в частности, для ответственных деталей нефтехимического оборудования и в судовом машиностроении для защиты деталей от морской воды. Соискателю предлагается продолжить работы по развитию этого перспективного направления.

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

По материалам работы можно сделать следующие замечания:

1. В диссертации написано: «Концентрация Cr на поверхности области легирования составила 35,68 %, данные значения соответствуют содержанию в данной области карбидов группы  $Cr_{23}C_6$ . Дальнейшее снижение концентрации в области от 28,74% до 16.65% указывает на присутствие карбидов группы  $Cr_7C_3$ » (стр.87 диссертации), а чем подтверждается наличие этих типов карбидов в указанных областях.
2. На рисунке 4.5 следует исправить подрисуночную подпись на «Распределение Cr и Fe...» (стр.88 диссертации), а на рисунке 4.6 - на «Распределение Cr, Ni и Fe...» (стр.89 диссертации)
3. Сбита нумерация рисунков и таблиц – два рисунка 4.4 – на стр.87 и 90, два рисунка 4.5 – на стр.88 и 97, два рисунка 4.6 – на стр.89 и 97, а также две таблицы 4.1 – на стр.86 и 93, две таблицы 4.2 на стр.87 и 93, две таблицы 4.3 – на стр. 88 и 94, что затрудняет чтение работы.
4. В таблицах по результатам статистической обработки 4.1 и 4.2 (стр.93 диссертации) и 4.3 (стр.94 диссертации) следует поменять местами столбцы с данными  $d_{max}$  и  $d_{min}$ ,  $H_{max}$  и  $H_{min}$ .

Указанные недостатки не снижают важности основных результатов работы, носят уточняющий характер и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы Михайлова А.В.

## **8. Заключение по диссертации**

Диссертационная работа Михайлова Андрея Владимировича является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение важной научно-производственной проблемы – замена деталей нефтегазового и судостроительного производства отечественными.

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,

Ведущий научный сотрудник

лаборатории Физика разрушения

ФГБУН «Институт проблем машиноведения

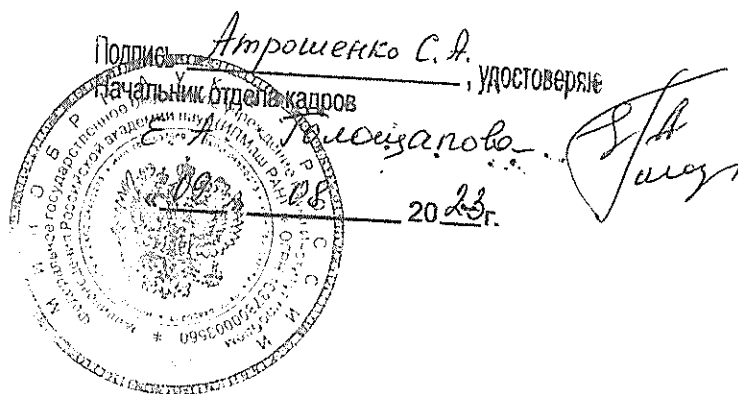
Российской академии наук»,

доктор физико-математических наук, профессор Ат Атрошенко Светлана Алексеевна

тел.: 8 (962) 687-33-70

e-mail: satroshe@mail.ru

Дата подписания отзыва «09» 08.2023г.



199178, г. Санкт-Петербург, Большой проспект В.О., д.61,

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки институт проблем машиноведения

Российской академии наук, ИПМаш РАН

тел.: 8 (812) 321-47-78; e-mail: ipmash@ipme.ru