

## **Отзыв официального оппонента**

на диссертационную работу Олефиренко Никиты Андреевича на тему "Повышение износостойкости рабочих поверхностей коленчатых валов из стали 45 после восстановления электродуговой металлизацией", представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – «Материаловедение (технические науки)»

### **Актуальность темы**

В современных условиях для предприятий, связанных с эксплуатацией и/или ремонтом техники, все большую значимость приобретает вопрос восстановления изношенных деталей вместо закупки новых, поскольку проведение ремонтных работ зачастую экономически выгоднее их замены. Это в особенности целесообразно для сложнопрофильных дорогостоящих деталей, изготовленных из высококачественных материалов. К подобным деталям относятся коленчатые валы компрессоров подвижного состава железнодорожного транспорта, выбранные соискателем в качестве объекта исследований, поскольку они утрачивают работоспособность лишь из-за локального износа шеек, в то время как более 90% изделия сохраняет свои кондиции.

Повышение эффективности восстановления работоспособности деталей на основе установления взаимосвязи характера и величины износа их рабочих поверхностей с технологическими методами восстановления эксплуатационных свойств представляется несомненно актуальной задачей.

Во всём мире не снижается интенсивность исследований в данной области, в нашей стране подобная тематика также постоянно находится в русле приоритетных направлений развития науки и техники, соответствует целому ряду пунктов Перечня критических технологий Российской Федерации, определённых Указом Президента РФ от 7 июля 2011 г. № 899.

Всё сказанное свидетельствует о несомненной актуальности темы, выбранной соискателем.



## Общая характеристика работы

Диссертационная работа Олефиренко Н.А. состоит из введения, пяти глав, заключения, списка цитируемой литературы (158 наименований) и содержит 212 страниц машинописного текста, в том числе 88 рисунков, 18 таблиц и приложения.

*Во введении* обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследований, представлены основные научные положения, выносимые на защиту, и практическая значимость работы.

*В первой главе* представлен обзор отечественных и зарубежных работ о состоянии и перспективах развития газотермического напыления при выполнении работ по реновации различных деталей.

На основе анализа технологических преимуществ и недостатков различных методов газотермического напыления, а также затрат на его применение в серийном ремонтном производстве для восстановления изношенных коленчатых валов компрессоров фреона был выбран метод электродуговой металлизации.

Несмотря на обширный объем выполненных исследований по электродуговой металлизации, остаются до конца нерешенными проблемы – скорость и окисление диспергированного металла в гетерофазном потоке.

Модифицирование поверхностного слоя может осуществляться деформационным упрочнением, поверхностной термообработкой, диффузионным нанесением легирующих элементов, воздействием на поверхность лазерными, электронными и ионными пучками.

Одним из перспективных методов по созданию износостойких, антифрикционных свойств поверхности деталей является ионная имплантация. Целенаправленный выбор сорта ионов и режимов ионного облучения позволяет создать на поверхности сталей слои с низким коэффициентом трения и износа.

На основании выполненного обзора были сформулированы цель и задачи исследования.

Заявленная цель работы состояла в исследовании возможности повышения износостойкости коленчатых валов из конструкционной стали 45, восстановленных электродуговой металлизацией, за счёт полиионной имплантации.



*Во второй главе* приведено описание оборудования для электродуговой металлизации коленчатых валов компрессоров фреона при их восстановлении. Для металлизации использовался стационарный металлизатор ЭДМ-5М. Определение прочности сцепления покрытия с подложкой определяли по штифтовому методу. Износостойкость газотермического покрытия до и после ионной имплантации определялась по действующей методике сравнительной оценки триботехнических характеристик (линейный и весовой износ, коэффициент трения, интенсивность изнашивания) стали и сплавов при сухом трении. Наиболее перспективными ионными источниками для обработки металлических конструкционных материалов, где требуются высокие дозы облучения при средних энергиях, являются источники на основе вакуумной дуги, которые работают в частотно-импульсном режиме и обеспечивают высокую производительность. В исследованиях применялась машина трения, Tribometer, CSM Instruments, Швейцария. Данная машина трения реализует следующие испытательные схемы: «стержень–диск», «стержень–пластина», «стержень–втулка». Эти испытания соответствуют международным стандартам ASTM G99–959, DIN50324 и ISO 20808.

*В третьей главе* представлены результаты исследования влияния параметров процесса электродуговой металлизации на свойства получаемых покрытий. Для решения проблемы снижения отрицательного влияния окисления выполнены исследования и модернизация металлизатора с использованием металлокаротермических процессов. Сущность аэрозольного флюсования заключается в том, что в факел диспергированного металла при электродуговой металлизации вводится аэрозоль, представляющий собой водный раствор различных веществ. Максимальная адгезионно-когезионная прочность покрытия в результате металлотермического воздействия флюса, содержащего водный раствор  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  – 57...55 МПа, что на 50% выше прочности покрытия, нанесенного без аэрозольного флюсования.

*В четвертой главе* приведены результаты исследований влияния ионной имплантации на механические и трибологические свойства стали 45, а также газотермических покрытий, нанесенных на упомянутую сталь электродуговой металлизацией. Экспериментально установлено, что ионная имплантация повышает износостойкость стали 45 при обработке ее различными сортами ионов. Ионная имплантация стали 45 титаном и



монотектического сплава Cu–Pb дает наибольший эффект по повышению износостойкости, чем имплантация других элементов.

В пятой главе представлены результаты промышленного опробования разработанной технологии при восстановлении опытной партии коленчатых валов системы кондиционирования воздуха в пассажирском вагоне. Полученные результаты показали, износ стали 45 при трении по валу из стали 45 при нагрузках 25–40 МПа примерно в 8–9 раз выше, чем при трении образцов стали 45 с покрытием из стали 50ХФА с пористостью 6,9%. При нагрузках 80–100 МПа средний приведенный износ в 2–3 раза меньше.

Диссертация завершается основными выводами, перечнем основных публикаций по диссертации, перечнем использованной литературы и приложением.

### **Научная новизна полученных результатов**

В работе получен ряд новых научных результатов, из которых наиболее важными являются:

1. Установлено, что прочность сцепления напыленного слоя с подложкой определяется химическим составом электродной проволоки и наличием окисления поверхности подложки и напыляемых частиц в процессе металлизации. Для устранения окисления предложено аэрозольное флюсование с введением в транспортирующий газовый поток и дуговой промежуток флюса в виде водного раствора  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  с концентрацией 30–60 г/л и расходом 5–10 мл/мин.

2. Показано, что увеличение скорости транспортирующего газового потока со 155 до 355–520 м/с способствует уменьшению размера напыляемых частиц с 90–105 до 30–60 мкм и увеличение прочности сцепления покрытия с подложкой до 50,5–53,1 МПа при открытой пористости 2,5–3,7%.

3. Показано, что снижение износа при трении в 5,5–6 раз наблюдается при имплантации ионами титана и сплава Cu–Pb с флюенсом в диапазоне  $5 \cdot 10^{16}$ – $3,2 \cdot 10^{17}$  см<sup>-2</sup>. Увеличение флюенса свыше  $5 \cdot 10^{17}$  см<sup>-2</sup> сопровождается снижением износостойкости имплантированного покрытия за счет образованием кластеров обогащенных внедряемыми элементами, интерметаллидных соединений а также существенной фрагментацией структуры поверхностного слоя на наноуровне.



### **Практическая значимость**

Практическая значимость диссертационной работы заключается в разработке технологического процесса восстановления электродуговой металлизацией коленчатого вала компрессора системы кондиционирования воздуха в пассажирском вагоне и повышения износостойкости покрытия за счет ионной имплантации, что является важной разработкой, выполненной в рамках Государственного контракта на выполнение работ для государственных нужд Российской Федерации 14.В37.21.1846 «Разработка научных основ технологии полиионной имплантации ремонтных коленчатых валов из конструкционной стали, восстановленных электродуговой металлизацией».

Результаты работы были внедрены в учебно-образовательный процесс подготовки бакалавров и магистров по направлениям 22.03.01 и 22.04.01 "Материаловедение и технологии материалов".

### **Достоверность и обоснованность результатов исследования**

Достоверность и обоснованность результатов, изложенных в диссертационной работе, обеспечивается корректностью постановки цели и формулирования целевых задач. Экспериментальные исследования проведены с использованием современных экспериментальных и расчетных методов исследований, а также методов математического планирования эксперимента. Исследования характеризуются применением аттестованного исследовательского оборудования и стандартных методик исследования. Экспериментальные данные получены в количестве, необходимом для их корректной статистической обработки, обладают воспроизводимостью и согласованностью между собой.

### **Соответствие содержания диссертационной работы указанной специальности**

Диссертационная работа по своим целям, задачам, содержанию, методам исследования и научной новизне соответствует п. 1 и 10 Паспорта специальности 2.6.17 – «Материаловедение (технические науки)».



Диссертационная работа по своим целям, задачам, содержанию, методам исследования и научной новизне соответствует п. 1 и 10 Паспорта специальности 2.6.17 – «Материаловедение (технические науки)».

### **Замечания по диссертационной работе**

1. При постановке цели и задачи исследования (раздел 1.6) автор ссылается на фотографии типичного травлёного микрошлифа плазменного покрытия и поверхности подложки под приварившейся, а затем механически удаленной частицы. Лишь после прочтения большей части работы выясняется локация этих иллюстраций в 3-й главе.

2. В работе анонсировано проведение исследований методами вторичной ионной масс-спектрометрии, ионной сканирующей микроскопии и Оже-спектрометрии. Однако соответствующих результатов в материале диссертации не обнаружено.

3. Спорным является утверждение о том, что «Плазма полностью состоит из вещества катода».

4. В тексте диссертационной работы следовало бы привести ссылки на нормативные документы, в соответствии с которыми были проведены испытания.

5. Кривые зависимости линейного износа от флюенса имплантации имеют экстремум. В то же время причины появления данного экстремума соискателем в работе не освещены.

6. В тексте диссертации присутствуют отдельные опечатки.

Указанные замечания и пожелания, тем не менее, не снижают общего положительного впечатления о диссертационной работе, не умаляют её достоинств, научной ценности и практической значимости. Исследование выполнено на современном научном уровне и демонстрирует высокий научный потенциал диссертанта.

### **Общая оценка диссертационной работы**

Структура и содержание диссертации Олефиренко Н.А. соответствует цели и задачам исследования. Работа хорошо оформлена, обладает

положения диссертационного исследования представлены на 4-х международных конференциях.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, соответствует паспорту научной специальности, а ее автор Олефиренко Никита Андреевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – «Материаловедение (технические науки)».

**Официальный оппонент:**

доктор технических наук, профессор кафедры "Лазерные технологии в машиностроении" ФГБОУ ВО "Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)"



Шиганов Игорь Николаевич

22.11.2021 г.

Адрес организации: 105005, 2-ая Бауманская улица, д.5.

Наименование организации: ФГБОУ ВО "Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)"

Электронный адрес: inshig@bmstu.ru

Телефон: 8 910 413-30-46

Подпись Шиганова И.Н. заверяю.



А. Г. Матвеев

ЗАМ. НАЧ УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВ

ТЕЛ: 8 499-283-67-69