

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Авилова Виктора Владимировича “Повышение износостойкости тяжело нагруженных трибосистем комбинированным методом модификации поверхностей трения”, представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.3 – Трение и износ в машинах.

1. Актуальность темы.

В настоящее время в связи с интенсификацией нагрузок и скоростей функционирования транспортных средств возрастает актуальность исследований, посвящённых обеспечению долговечности и надёжности узлов трения, поскольку от них в первую очередь зависит надёжность и безопасность самих транспортных средств. Поскольку в процессе эксплуатации машин и механизмов наибольшим внешним воздействиям подвергаются их поверхностные слои, так что структура и свойства этих слоёв контактирующих деталей оказывают определяющее влияние на прочность и износостойкость этих деталей и, как следствие, на работоспособность трибосопряжений, а значит на долговечность и надёжность самих агрегатов. При этом следует учитывать, что значительное количество узлов трения работает в условиях режима тяжёлой граничной смазки, которая не обеспечивает полной защиты от износа, причём иногда смазка просто вдавливается из трибологического контакта, и имеет место сухое трение (например, как в таком узле трения подвижного состава, как «пятник-подпятник» грузового вагона).

В связи с этим для повышения противоизносных свойств поверхностных слоёв деталей узлов трения достижения этой цели был разработан ряд методов модифицирования поверхностных слоёв деталей, повышающих их сопротивление изнашиванию. Одним из наиболее эффективных, но при этом простых и не требующих специального оборудования методов упрочнения поверхностей трущихся тел, является технология электроискрового легирования (ЭИЛ) в жидких средах. Весьма актуальной является разработка методов электроискровой обработки металлических поверхностей трения, работающих в условиях граничной смазки и обладающих свойствами саморегулирования. Решение проблемы повышения износостойкости трибосистем. Диссертант рассматривает на основе комплексного подхода, включающего в себя модификацию контактных поверхностей трибосопряжения путём электроискрового легирования из жидкой среды и синтез присадок к пластичным смазочным материалам, обеспечивающих

образование на поверхностях трения вторичных структур, позволяющих направленно изменять трибологические свойства узла трения.

Диссертантом были определены критерии выбора материала, жидких сред и режимов нанесения для широкого диапазона нагрузок и скоростей узлов трения. Учитывая, что лабораторные, стендовые и эксплуатационные испытания покрытий были проведены на конкретных изделиях – «пятник-подпятник» подвижного состава, работающих в режиме граничной смазки, то весьма актуальным и перспективным направлением является разработанные автором эффективные присадки к пластичным смазочным материалам, способных к формированию вторичных структур на поверхности трения.

2. Методология и методика исследований, представленная в работе

Методология построения диссертационной работы заключается в системном анализе и последовательном исследовании комбинированного метода модифицирования поверхности, обеспечивающего высокую износостойкость трибосистемы и упрочнение поверхности трения. Автор аргументированно показывает, что физико-химические, физико-механические и трибологические процессы во фрикционном контакте при граничном трении необходимо рассматривать как взаимосвязанные, как единую систему, состоящую из подсистем:

- модификация поверхностных слоев трибосопряжения электроискровым легированием в жидких средах
- модификация пластичных смазочных материалов присадками метафосфатного состава.

На основе результатов исследования этих взаимосвязанных подсистем, автор вполне логично устанавливает механизм упрочнения трибоконтактных поверхностей и повышение их износостойкости.

Методы исследования базируются на современных концепциях в области физики твердого тела, в том числе об электронном строении материи, квантово-химических расчетов, структурной самоорганизации процессов трения, с использованием экспериментальных методов – рентгеноэлектронной спектроскопии, оже-электронной спектроскопии и др. Для решения поставленных задач использовались базовые положения методов физико-математического моделирования и планирования эксперимента.

3. Научная новизна результатов работы

Основной вывод, характеризующий научную новизну диссертационного исследования, заключается в том, что в работе предложена методика и разработана технология модифицирования поверхности трения на

основе метода электроискровой обработки поверхности в жидких средах, а также разработаны многофункциональные присадки неорганической природы на основе двойных метафосфатов, улучшающих физико-химические и трибологические свойства пластичных смазочных материалов.

В работе представлены результаты теоретических расчетов и экспериментальных исследований, обладающие научной новизной в соответствии с паспортом специальности 2.5.3 – Трение и износ в машинах. К числу наиболее значимых, на мой взгляд следует отнести:

- на основе квантово-химических расчетов проведена оценка энергии межатомного взаимодействия железа с различными элементами при электроискровом легировании, что позволило сделать выбор материала для электрода при модифицировании поверхности трения;

- разработаны многофункциональные присадки неорганической природы на основе двойных метафосфатов, улучшающих физико-химические и трибологические свойства пластичных смазочных материалов;

- представлен механизм формирования упрочняющего слоя поверхности трения за счет термомеханодеструкции атомов вольфрамового электрода и «изолирующей жидкости» с выделения углерода и последующим образованием карбидного слоя WC, реализующих дисперсный механизм упрочнения стали.

К числу значимых научных результатов, имеющих существенное практическое значение, следует отнести:

- установлено и подтверждено расчетами энергии связи фрагментов молекулы с железом эффективности присадок $\text{CaZn}(\text{PO}_3)_4$ и $\text{NiZn}(\text{PO}_3)_4$ к смазочным материалам, способствующая образованию пленок переноса на поверхности трения;

- установленный механизм влияния электроискрового легирования и формирование поверхностных структур из пластичных смазочных материалов с применением разработанных присадок могут служить основой не только для создания нового класса смазочных материалов, но и открывает возможности использования комбинированного метода модифицирования поверхности трения не только в узлах подвижного состава, но и в авиации, морском и наземном транспорте.

4. Степень обоснованности выводов и рекомендации диссертации

Обоснованность основных научных положений и выводов подтверждается сходимостью теоретических обоснований с результатами экспериментальных исследований, проведенных на современной и очень важно, сертифицированной аппаратуре. Следует также отметить, что

убедительным подтверждением обоснованности выводов и рекомендаций являются не только стендовые испытания, но и эксплуатационные, которых одобрены и апробированы на Северо-Кавказской и Западно-Сибирской, что подтверждено соответствующими актами.

В результате исследований отражено хорошее владение автором аппаратом прикладной механики – при использовании метода планирования эксперимента и при использовании квантово-химических расчетов методом DFT (Density Functional Theory) энергии связи атомов W и C с атомами железа; а также химии – представлен синтез нового вида присадок.

5. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность проведенных исследований Авиловым В.В. не вызывает сомнений и подтверждается сходимостью результатов теоретических расчетов и экспериментальных исследований, обладающих научной новизной. Выбранный автором методологический подход, позволяющий комбинированный метод модифицирования поверхности трения рассматривать как взаимосвязанные два процесса – это электроискровое легирование трибоповерхности в жидких средах и синтез эффективных присадок к пластичным смазочным материалам. Автор убедительно доказывает, что оба процесса находятся в функциональной взаимосвязи по установлению механизма упрочнения контактных поверхностей трибосопряжений и повышению их износостойкости. Достоверность этого подтверждается квантово-химическими расчетами энергии связи и анализа диффузионных процессов вольфрама и углерода в стальное контртело.

6. Значимость выводов и рекомендаций для науки и практики

Полученные в диссертации научные результаты позволили:

- установить механизм упрочнения контактных поверхностей трибосопряжений и повышение их износостойкости на основе комплексного подхода, включающего в себя модификацию контактных поверхностей и синтез присадок к пластичным смазочным материалам;
- сформулировать рекомендации по разработке многофункциональной присадки неорганической природы на основе двойных метафосфатов, улучшающих физико-химические и трибологические свойства пластичных смазочных материалов;
- разработать научно-обоснованную технологию и установить закономерности влияния технологических режимов обработки поверхности с

помощью электроискрового легирования в жидких средах на их физико-механические и трибологические параметры.

Что касается практической значимости работы Авилова В.В., то следует отметить, что она определяется приближением теоретических исследований к инженерной практике. Востребованной для внедрения в реальных узлах трения является разработанная технология и определены параметры обработки поверхности методом ЭИЛ и выбор материалов и сред для получения «микрорезервуаров», исключающих пленочное голодание пластичных смазочных материалов.

Представляет интерес для практики разработанная технология получения пластичных смазочных материалов с присадками двойных метафосфатов, которая открывает возможности использования ее не только в узлах трения подвижного состава, что подтверждается актами в диссертации, но и в узлах трения авиации, морском и других.

7. Рекомендации по использованию результатов диссертации в конкретных организациях

Исследования завершены стендовой и эксплуатационной проверкой разработанной технологии комбинированного метода модификации поверхности трения в реальных тяжело нагруженных трибосистемах подвижного состава «пятник-подпятник», одобрены и приняты решения к внедрению на Северо-Кавказской и Западно-Сибирской железных дорог.

Установленные в диссертации закономерности и механизм формирования поверхностных структур из пластичных смазочных материалов с применением разработанных присадок могут служить основой для создания нового класса смазочных материалов и найти применение не только на транспорте, но и подъемно-транспортных механизмах, строительных и других машин

8. Единство структуры работы и полнота изложения материалов в открытой печати

Цель работы по повышению износостойкости трибосистем на основе комбинированного подхода, включающего в себя модификацию контактных поверхностей трибосопряжений и синтез присадок к пластичным смазочным материалам, последовательно реализуется на протяжении всей работы и завершается стендовой и эксплуатационной проверкой разработанных новых материалов и технологий в узлах трения подвижного железнодорожного состава «пятник-подпятник».

Работа изложена на 160 страницах машинописного текста и состоит из введения, пяти глав, заключения, пяти приложений, из которых два акта

эксплуатационных испытаний. Библиографический список содержит 188 наименований, а сама работа структурирована вполне логично. Во введении автор дает обоснование актуальности работы и показывает степень разработанности отечественными и зарубежными учеными целей и задач исследований по теме повышения износостойкости поверхностного слоя трибосопряжения. В первой главе дан подробный анализ современного состояния проблемы и обозначается цель работы и ставятся конкретные задачи исследования по модифицированию поверхности трения и синтезу новых присадок на основе метафосфатного состава. Вторая глава посвящена исследованию по влиянию электроискрового легирования в составе жидких сред на физико-механические и трибологические характеристики модифицированного слоя. В третьей главе представлены исследования морфологии, элементного состава поверхностных структур образцов, прошедших модификацию методом электроискрового легирования в жидких средах. В четвертой главе представлен синтез нового вида присадок – двойных метафосфатов и их влияние на показатели трибологических исследований в широком диапазоне нагрузок и скоростей. Пятая глава посвящена стендовым и эксплуатационным испытаниям разработанной технологии электроискрового легирования с использованием пластичных смазочных материалов с метафосфатными присадками в пятниковом узле грузового вагона. Общие выводы соответствуют выполнению поставленной цели работы.

Автореферат строго и в полном объеме отражает основное содержание текста диссертации, которая в полной мере соответствует специальности 2.5.3 – Трение и износ в машинах по следующим пунктам: «Триботехнические свойства материалов» (пункт 7 – главы 2, 4, 5); «Термодинамика и самоорганизация трибосистем» (пункт 11 – главы 3, 4); «Микро и нанотрибология» (пункт 14 – главы 3, 4, 5).

Автором опубликованы 43 научных работы, в том числе 16 – в изданиях входящих в Перечень ВАК, 4 – в журналах индексируемых в базе данных Scopus и Web of Science, 3 – патента РФ. Основные положения диссертации докладывались на международных и всероссийских научно-практических конференциях, в которых достаточно полно отражено содержание диссертации. Личный вклад автора подтвержден и имеются ссылки на авторов и источники заимствования.

9. Замечания по диссертационной работе

1. Из данных автореферата и диссертации не ясно, почему автор при рассмотрении результатов трибологических испытаний на износостойкость о

- влиянии нагрузки, скорости и процентного содержания присадки утверждает, что по степени влияния нагрузки и скорости на величину износа большее влияние оказывает нагрузка (конец четвертой главы автореферата – пункт 4).
2. Разработанные автором присадки двойного метафосфата кальция и цинка, никеля и цинка с добавлением в пластичную смазку ПУМА-МР показали их высокую эффективность по износостойкости (глава 4). Вместе с тем, было бы желательно узнать, а можно ли ожидать подобных результатов в случае других смазочных материалов.
 3. В трибологии одним из основных параметров, влияющих на процессы трения является температура. В работе отсутствуют пояснения в каком температурном диапазоне (отрицательных и положительных значений) будут работать данные присадки.
 4. Из данных автореферата и диссертации не ясно до каких предельных значений скоростей и нагрузок будут эффективно работать разработанные автором технология модифицирования поверхности и присадки к пластичным смазочным материалам.
 5. Стоило бы более подробно в работе пояснить, что понимается под процессом самоорганизации, имеющей место при образовании вторичных структур – пленок переноса.
 6. В работе отсутствуют данные – при каких условиях и нагрузочно-скоростных режимах будет происходить нарушение целостности вторичных структур.

10. Заключение

Указанные замечания не влияют на положительную оценку в целом диссертационной работы- на ее научную обоснованность и значимость теоретических и практических полученных результатов, выполненных на достаточно высоком научно-техническом уровне, и по работе можно принять следующее заключение.

Диссертация Авилова Виктора Владимировича «Повышение износостойкости тяжелонагруженных трибосистем комбинированным методом модифицирования поверхностей трения» является самостоятельной завершенной, научно-квалификационной работой, в которой содержатся новые технические и технологические решения по повышению износостойкости и надежности тяжелонагруженных трибосистем, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие железнодорожной отрасли и может использоваться в других отраслях промышленности.

Улучшение физико-механических и трибологических характеристик узлов трения основано на разработанной автором технологии комбинированного модифицирования поверхности в жидких средах, а также разработанной

многофункциональной присадки неорганической природы на основе двойных метафосфатов.

Основной список публикаций автора (43 печатных работ) опубликованных в рецензируемых журналах из перечня ВАК РФ (16) и 4 - входящих в международные базы цитирования Scopus и Web of Science позволяет, что материалы работы в полной мере освещены в научной литературе.

Автореферат отражает основные результаты научного исследования, а содержание диссертации соответствует специальности 2.5.3 - Трение и износ в машинах.

Таким образом, представленная к защите диссертационная работа соответствует требованиям ВАК РФ, а ее автор Авилов Виктор Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.3 - «Трение и износ в машинах».

Официальный оппонент:

Главный научный сотрудник лаборатории Методов смазки машин, Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН), доктор технических наук по специальности 05.02.04 «Трение и износ в машинах», 05.17.07 «Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ» (техн. науки).

 Буяновский Илья Александрович
«1» января 2025 г.

Даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

 Буяновский Илья Александрович
«1» января 2025 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН)
101000, г. Москва, Малый Харитоньевский пер., д.4. Тел. +7 (499) 135-84-70
E-mail: buyan@mail.ru

Подпись Ильи Александровича Буяновского заверяю:

Заместитель директора ИМАШ РАН по научной работе

доктор технических наук



 Филиппов Г.С.