

ОТЗЫВ

**официального оппонента доктора технических наук, профессора
Елагиной Оксаны Юрьевны
на диссертационную работу Мантурова Дмитрия Сергеевича на тему:
«Повышение износостойкости металлических и металлополимерных
трибосистем путем формирования структуры и свойств их поверхностного
слоя», представленную на соискание учёной степени
кандидата технических наук по специальности 05.02.04 – «Трение и
износ в машинах»**

1. Актуальность темы исследований

Актуальность темы исследования определена необходимостью разработки новых конструкционных материалов и покрытий, работающих в тяжело нагруженных узлах в условиях сухого трения или граничной смазки. Характерными представителями объекта исследования в работе являлись: узел «пятник – подпятник» грузового подвижного состава и шлицевое муфтовое соединение хвостовой трансмиссии вертолета. Значительные контактные нагрузки, воспринимаемые узлами трения такого типа, сопровождаются циклическим возвратно-поступательными или возвратно-вращательными перемещениями, что определяет специфический характер их изнашивания.

При постановке целей исследования были выбраны два сочетания материального исполнения узлов трения: металл-полимерные пары, работающие без смазочной среды, и металл-металлические пары с модифицированием поверхности для работы в условиях граничной смазки. Изучение в рамках задач исследования многослойных покрытий, полученных путем упрочнения вакуумной ионно-плазменной обработкой, придает инновационную направленность данной работе.

Анализ актуальности задач исследования показал, что не смотря на разнородность рассмотренных трибосистем по материальному исполнению, их объединяет проблема изучения вторичных структур, образующихся в процессе трения как в результате переноса и взаимодействия с композиционным полимером, так и при контакте модифицированной поверхности со смазочной средой. Данный вопрос имеет высокую актуальность в сфере изучения теоретических основ трения.

2. Научная новизна исследований, выводов, рекомендаций, сформулированных в диссертации

Новыми и наиболее существенными научными результатами работы являются:

а) установлен механизм формирования вторичных поверхностных структур в процессе трения «металл – полимер» и на этой основе разработана технология выбора наполнителей – аримида-Т, шпинели, фторопласта в матрицу фенилона С-2,

позволившая значительно улучшить трибологические характеристики металлополимерного сопряжения;

б) установлено повышение износостойкости контактных поверхностей узлов трения путем формирования гетерофазной наноструктуры покрытия системы CrAlSiN и оптимизации его толщины на уровне 1,0 – 1,5 мкм;

Научные результаты работы, представленные ниже, представляют больше прикладной практический интерес:

в) теоретически обосновано и экспериментально доказано, что только поверхности подложки для вакуумных ионно-плазменных покрытий с шероховатостью $R_a \leq 0,12$ мкм и $R_z \leq 0,6$ мкм (не ниже 10-го класса шероховатости) обеспечивают качественное осаждение тонких вакуумных покрытий, обладающих высокой износостойкостью;

г) установлены условия для выбора материалов и режимов технологии нанесения ионно-плазменных покрытий, а также критерии (принципы) соответствия физико-химических свойств трансмиссионного масла с нанодобавками составу нанесенных ионно-плазменных покрытий.

3. Связь диссертационной работы с НИР и НИОКР. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Работа посвящена разработке рекомендаций по повышению износостойкости как металл-полимерных, так и металл-металлических тяжело нагруженных трибоузлов и управления их фрикционными свойствами:

- для металл-полимерных сопряжений – это узел «пятник-подпятник» подвижного состава железнодорожного транспорта с применением новых разработанных полимерных композиционных материалов;

- для металлических трибосопряжений путем разработки технологии нанесения ионно-плазменных покрытий системы CrAlSiN с гетерофазной наноструктурой для использования по повышению надежности шлицевого соединения трансмиссии вертолета МИ-26М с учетом совместимости этих покрытий и смазочных материалов с нанодобавками.

Вместе с тем, следует отметить, что важность решаемой автором проблемы подтверждается тем, что исследования в этой области были поддержаны Российским научным фондом (грант № 14-29-00116), Минобрнауки РФ (идентификатор проекта RFMEFI60718X0203), а также Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 17-20-03176; № 18-08-00260). Однако значение работы имеет большое значение не только для РЖД и вертолетостроения, но и для машиноведения вообще.

4. Обоснованность научных положений и достоверность результатов исследований подтверждается:

Достоверность и обоснованность основных положений и выводов рассматриваемой диссертации подтверждается применением различных методик исследования структуры и триботехнических свойств, показавших логическую возможность совместной интерпретации полученных результатов. Вызывает уважение перечень использованных при проведении экспериментальных исследований современных инструментальных средств – сканирующей электронной микроскопии, рентгеновской и оже-электронной спектроскопии, ИК-Фурье спектроскопии, нано-индентированием, вибротрибометрии. Обработка полученных экспериментальных данных проводилась с использованием стандартных программ, прошедших верификацию и валидацию. Полученные результаты отличаются хорошей сходимостью и не противоречат результатам других исследователей, что подтверждает их достоверность.

5. Подтверждения опубликованных основных результатов диссертации в научной печати

Основные научные результаты диссертационной работы опубликованы в 36 научных работах, в том числе 7 публикаций в изданиях, включенных в базы данных Scopus и Web of Science, 2 патента РФ, 6 работ – в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ.

Все опубликованные работы системно и методично посвящены материалу, представленному во всех главах диссертации. Кроме этого, основные результаты исследований прошли апробацию на многих международных и всероссийских конференциях.

6. Личный вклад соискателя в получении результатов исследования

Диссертация представляет самостоятельный научный труд автора, что подтверждается широким обсуждением ее отдельных результатов и работы в целом на более чем пятнадцати конференциях по трению, износу и смазочным материалам, а также на научных семинарах.

По данным автора, взятым из автореферата, личное участие автора в публикациях определяет следующим: в работе [1] разработана методика получения наноразмерных частиц; [2, 6] участие в постановке задачи и экспериментальных исследованиях, по результатам исследований проведена оценка основных параметров композита; [3, 7] разработка методики проведения исследований механизма формирования вторичных поверхностных структур; [4, 8] участие в проведении экспериментальных исследований смазочных композиций, анализ и сопоставление полученных результатов; [5] разработана технология формирования поли-мерной композиции; [9, 11] разработка методик и систем мониторинга свойств трибосопряжений, сопровождение экспериментальных исследований

модифицированной поверхности; [10, 12] разработана технология для формирования ионно-плазменных износостойких покрытий, выполнены экспериментальные исследования, по результатам исследований проведена оценка основных параметров покрытия; [14, 16, 17, 18, 19] анализ и интерпретация выполненных экспериментальных исследований по влиянию нанofункциональных присадок; [15, 20, 21, 22, 23] разработана технология формирования многослойного антифрикционного покрытия и выполнены эксплуатационные испытания покрытия; [24, 27, 33, 34] обоснования влияния наномодифицирования компонентов и нанодобавок на фрикционные характеристики металлополимерных трибосистем; [26] предложены методики диагностирования поверхности с учетом изменения триботехнических характеристик в зоне контакта; [28, 36] разработка способов упрочнения стланных поверхностей трибоконтакта; [30] установлены влияния механоактивации нанонаполнителя; [31, 32] предложена методика оценки морфологии поверхности трения; [35] установление влияния применения модификаторов к пластичным смазочным материала на эксплуатационные характеристики трибосистемы.

7. Значимость результатов исследования

Полученные автором новые научные результаты дополняют знания о механизмах формирования вторичных структур при трении скольжении с участием самосмазывающихся полимерных композиций и металлических покрытий, нанесенных с применением вакуумных ионно-плазменных технологий. Для металлических узлов трения получены новые данные по возможностям применения и механизму образования вторичных структур на поверхностях, подвергнутых ионно-вакуумному модифицированию и работающих в условиях граничной смазки с участием электронодонорных соединений.

В результате исследований разработан новый композиционный самосмазывающийся материал на полимерной основе и показана возможность упрочнения поверхностей трения путем нанесения многокомпонентного ионно-вакуумного покрытия. Данные результаты работы апробированы в промышленности в тяжелонагруженных узлах трения подвижного состава и шлицевых соединениях хвостовой трансмиссии вертолета МИ-26М, что подтверждено соответствующими Актами, представленными в Приложениях к диссертационной работе.

8. Структура, направленность диссертации

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, библиографического списка из 201 наименований. Общий объем работы составляет 160 страниц, включает 48 рисунков и 14 таблиц.

В первой главе дается обзор современного состояния исследований по теме диссертации, анализ работ российских и зарубежных ученых в области формирования структуры и свойств контактных поверхностей узлов трения. На основе выполненного анализа отмечена необходимость проведения исследований в области формирования вторичных структур на поверхности трения, для разработки новых композитных материалов, обладающих способностью саморегулирования. Обоснована актуальность изучения триботехнических свойств покрытий, модифицированных методом ионно-плазменного напыления. Отмечена необходимость рассмотрения вопроса формирования пленок на поверхности трения из компонентов смазочной среды, применительно к их совместимости с компонентами ионно-плазменного покрытия.

Вторая глава посвящена исследованию металл-полимерных пар трения, использующих полимерные композиты с нанодобавками. При проведении исследований рассмотрено 4 группы полимеров, из которых для трибологических и спектроскопических исследований в качестве полимерного связующего был выбран фенилон (С-2) с разными типами наполнителей. Оценка трибологических характеристик композитов проводилась на машине трения ИИ 5018 по схеме «ролик – палец» и сконструированной автором машине «плоский диск – палец». В результате выполненных исследований автор определил, что основным условием минимального коэффициента трения и высокой износостойкости является образование вторичных структур, исследование которых выполнено методами ИК-спектроскопии и оже-электронной спектроскопии.

В третьей главе выполнены комплексные металлофизические и трибологические исследования нитридных ионно-плазменных покрытий систем TiAlN и CrAlSiN. Основной объем исследований топографии, структуры и фрактографии покрытий, а также изучения поверхностей трения выполнен методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Физико-механические характеристики покрытий (модуль упругости E и твердость H) определялись с использованием установки Nanotest-600, а для определения трибологических характеристик исследуемых вакуумных ионно-плазменных покрытий была использован вибротрибометр TRB из серии машин SRV. Покрытие CrAlSiN с гетерогенной структурой показало значительное уменьшение износа при сохранении коэффициента трения на высоком уровне. Это определило вывод автора о том, что применение износостойких ионно-плазменных покрытий требует применения смазочных сред с присадками, регулирующими протекание адсорбционных процессов на той или иной модифицированной поверхности.

С целью подбора наиболее эффективных присадок к смазочному материалу при использовании в трибоконтакте ионно-плазменных покрытий в качестве адсорбатов изучены электронодонорные, электроноакцепторные и слабополярные молекулы. В результате выполненных исследований показано, что применение

серосодержащих присадок для модифицирования трансмиссионного масла позволит добиться эффективного образования наиболее прочных граничных слоев на поверхности трибоконтакта с покрытием CrAlSiN.

Четвертая глава диссертации посвящена разработке рекомендаций по повышению износостойкости как металл-полимерных, так и металлических тяжело нагруженных трибосистем и управлению их фрикционными свойствами. В данной главе представлены результаты стендовых испытаний узлов трения «пятник – подпятник» грузового вагона и шлицевых соединений хвостового вала трансмиссии вертолета. Результаты исследований подтвердили эффективность предлагаемых технических решений.

9. Соответствие паспорту специальности

Содержание диссертации полностью соответствует паспорту специальности 05.02.04 «Трение и износ в машинах» в части следующих областей исследования:

- п.2 Механика контактного взаимодействия при трении скольжения, трении качения и качения с проскальзыванием с учетом качества поверхностного слоя.
- п.3 Закономерности различных видов изнашивания и поверхностного разрушения.
- п.7 Триботехнические свойства материалов, покрытий и модифицированных поверхностных слоев.
- п.8 Триботехнические свойства смазочных материалов.

10. Замечания по работе

По работе имеются следующие замечания:

1. Рассмотренные в работе тяжело нагруженные узлы трения, эксплуатируются в различных по назначению механизмах, что накладывает определенную специфику на условия их работы. Их рассмотрение в одной работе затрудняет восприятие диссертационного исследования. Хотелось бы, чтобы автор в дальнейшем конкретизировал сферу своих научных исследований.

2. При оценке физико-механических характеристик композиционных материалов и ионно-плазменных покрытий автор определяет только два показателя - твердость и модуль упругости. Не ясно, почему автор не определял для полимерного композита такие стандартные для полимеров свойства как относительное удлинение и прочность на разрыв, что позволило бы сравнить полученные характеристики со свойствами других композиций.

3. В работе нет указаний, при каких режимах, условиях будет происходить нарушение целостности вторичных структур, сформированных в процессе трения, и наступит непосредственно контакт трущихся сопряжений.

4. На стр. 107 диссертации говорится: «Для гетерофазных покрытий системы CrAlSiN в качестве оптимальной толщины покрытия при использовании в нагруженных трибосопряжениях принято эмпирическое значение $1,0 \pm 0,2$ мкм». Считаю некорректным формулировку со словами «оптимальной», так как нет границы условий ни по скорости, ни по нагрузке работы трибосопряжения.

5. По результатам проведенных стендовых испытаний трибосопряжения «пятник – подпятник» грузового вагона не проводилось определение показателей долговечности запрессованных вставок полимерных композиций, что важно для определения срока наработки на отказ узла трения.

11. Заключение

В диссертационной работе сформулированы и научно обоснованы предложения по использованию для повышения износостойкости контактных поверхностей тяжело нагруженных узлов трения, работающих в условиях циклического перемещения, композиционных полимерных материалов и ионно-плазменных покрытий, формирующих на поверхности трения вторичные структуры. Кроме этого в работе установлены требования для выбора материалов и режимов технологии ионно-плазменного нанесения, а также принципы соответствия физико-химических свойств трансмиссионного масла с нанодобавками составу нанесенных ионно-плазменных покрытий.

Результаты диссертационного исследования доступны научной общественности. Они опубликованы в 36 научных работах, в том числе 7 публикаций в изданиях, включенных в базы данных Scopus и Web of Science, а также 6 работ – в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ. Техническая новизна прикладной части работы подтверждена двумя патентами. Автореферат отражает основные результаты научного исследования. Содержание диссертации соответствует специальности 05.02.04 – «Трение и износ в машинах». Работа отвечает критериям п. 9 «Положение о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемыми к диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Д.С. Мантуров, не смотря на замечания, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.04 – Трение и износ в машинах.

Диссертация, автореферат диссертации и отзыв обсуждены и одобрены на заседании кафедры «Трибология и технологии ремонта нефтегазового оборудования» (протокол № 11-20 от 13.11.2020 г.)

Официальный оппонент:

Елагина Оксана Юрьевна, гражданин РФ, доктор технических наук по специальностям: 05.03.06 – Технологии и машины сварочного производства и

05.02.01 – Материаловедение (машиностроение), профессор по кафедре износостойкости машин и оборудования и технологии конструкционных материалов, заведующий кафедрой «Трибология и технологии ремонта нефтегазового оборудования» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина»

Елагина Оксана Юрьевна

«19» 11 2020 г.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина»

119991, г. Москва, пр. Ленинский, д 65, корпус 1:

Тел. Моб. +7(910)408-47-84 E-mail: elaguina.o@gubkin.ru

Подпись д.т.н., проф. Елагиной О.Ю. заверяю.

