

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе и
инновационной деятельности ФГБОУ ВО
«Южно-Российский государственный
политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова»

Олег Александрович Кравченко
доктор технических наук, доцент



Олег Александрович Кравченко
_____ 2021 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» на диссертационную работу Новикова Евгения Сергеевича на тему: «Установление закономерностей изменения структурно-фрикционных свойств тяжело нагруженных металлополимерных и металлических трибосистем и разработка методов повышения их износостойкости» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.04 «Трение и износ в машинах».

1. Актуальность избранной темы

В настоящее время значительное число машин, механизмов, приборов, технологического оборудования выходит из строя по причине износа узлов трения. При этом расходуются огромные материальные и энергетические ресурсы на ремонт трибосопряжений. Последние два-три десятилетия во всех промышленно развитых странах характеризуется усилением внимания к проблемам трения и износа, вредные последствия которых оцениваются значительной безвозвратной потерей национального валового продукта. Внимание к этой проблеме возрастает вследствие широкого внедрения в тяжело нагруженных трибосистемах композиционных полимерных

материалов и разработки современных методов формирования тонких поверхностных слоев на металлической поверхности. Перспективным направлением исследований является изучение процессов на атомно-молекулярном уровне, протекающих в трибосопряжениях, с учетом эволюции свойств материалов в поверхностных слоях.

Диссертация Новикова Е.С. является актуальной, так как исследованиями на микро-, мезо- и макроуровнях при помощи современных квантово-химических и экспериментальных методов исследований изучен механизм взаимодействия тонких поверхностных слоев на локальных микроплощадках трибосопряжений, сопровождающийся изменением структуры поверхности и ее механических и трибологических свойств под воздействием диффузионно-сегрегационных процессов.

Актуальные исследования Новикова Е.С. поддержаны грантами Российского фонда фундаментальных исследований (проект 11-08-12087, проект 12-08-00972, проект 13-08-00672, проект 13-08-00732), Российского научного фонда (проект РНФ №14-29-00116), министерства науки и высшего образования РФ (проект №14.607.21.0203 от 26.11.2018 (уникальный идентификатор соглашения RFMEFI60718X0203)).

2. Научная новизна исследований и полученных результатов, выводов, рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научная новизна исследований заключается в следующем. Для металлополимерных трибосопряжений сформулированы и научно обоснованы методы управления их физико-механическими и трибологическими характеристиками, а для металлических узлов трения разработаны инновационные методы нанесения тонких алмазоподобных поверхностных слоев, которые позволили повысить износостойкость и надежность транспортных систем железнодорожного подвижного состава и вертолета МИ-26.

Новыми и наиболее существенными научными результатами работы являются:

1. Автором предложена методика исследования сегрегационных и диффузионных процессов в зоне металлополимерного контакта. В основу ее положены квантово-химические расчеты межатомных взаимодействий на границах зерен и по значению их энергии связи выполнено изучение совместимости элементов с железом. Установлена связь их совместимости с периодической таблицей Д.И. Менделеева, что открывает направление

модификации полимерных композитов путем введения в них легирующих добавок.

2. Разработана методика оценки значений энергии химической связи с железом тех элементов, которые способствуют его упрочнению и предложен метод транспортировки упрочняющих элементов в поверхностные слои металлического контртела, обеспечивающих повышение износостойкости металлополимерной трибосистемы.

3. Проведенные автором исследования физико-механических, трибологических свойств, тонкой структуры и механизма изнашивания нанесенных износостойких тонких поверхностных слоев на металлической поверхности позволили оптимизировать процесс применения алмазоподобных DLC-покрытий для повышения износостойкости тяжело нагруженных металлических трибосистем, в частности, получить градиентное распределение электронных конфигураций углерода sp^3 и sp^2 по сечению покрытия.

4. Установлено, что физико-механические свойства DLC-покрытий неоднородно распределены по глубине и по мере приближения к подложке, на которую наносится покрытие, происходит аморфизация структуры покрытия и доля графитоподобной составляющей возрастает, а увеличение доли орбиталей sp^3 у поверхности покрытия свидетельствует о ее алмазоподобном строении.

3. Значимость полученных автором диссертации результатов для развития отрасли науки и производства

Значимость для развития отрасли науки «Трение и износ в машинах» и производства, полученных автором диссертации, заключается в следующем. Разработана методика изучения сегрегационных процессов, происходящих в зоне металлополимерного трибосопряжения, с использованием квантово-химических расчетов. В трибосопряжении «полимер-металлическое контртело» автором установлено, что некоторые имплантированные элементы способствуют упрочнению, а другие элементы способствуют разупрочнению поверхностей металлического контртела, что позволило диссертанту сделать вывод о том, что при создании определенных условий трение может являться не только разрушительным, но и созидательным процессом, что весьма важно при выборе наполнителей композиционным полимерным материалам для использования последних в металлополимерных трибосопряжениях.

Для вакуумного ионно-плазменного покрытия установлено, что на величину адгезии DLC-покрытия оказывают влияние (легирование) подложки Nb и/или Hf ионной имплантацией, а также нанесение промежуточных слоев в покрытие, например, тонкого нитридного слоя CrAlSiN.

Выполненные теоретические исследования на основе кванто-химических расчетов, а также рентгеноэлектронные и оже-электронные спектроскопические исследования позволили:

1. Сформулировать критерии выбора наполнителей в композиционные полимерные материалы для металлополимерных трибосопряжений.

2. Разработать способ аттестации элементов трибосистемы, обеспечивающих упрочнение контактирующих сопряжений, а также технологию трибоупрочнения.

3. Установить закономерности образования высокопрочных и антифрикционных поверхностных слоев тяжело нагруженных трибосопряжений, позволяющие выбирать класс легирующих элементов и режимы нанесения алмазоподобных DLC-покрытий, способствующих повышению износостойкости.

4. Разработать технологию формирования алмазоподобных DLC-покрытий на поверхностях трибоконтakta трансмиссионных шлицевых соединений вертолета МИ-26, позволяющую значительно увеличить износостойкость данной трибосистемы, а также «колесо-тормозная колодка» тормозной системы железнодорожного подвижного состава.

5. Представлен акт Северо-Кавказской железной дороги от 07.10.2020 г. эксплуатационных испытаний тормозной колодки на основе нового композиционного материала, которая повышает сцепление с колесом вагона при торможении, что повышает эксплуатационные характеристики вагонов.

Представлен акт завода ПАО «Роствертол», г. Ростов-на-Дону, от 05.10.2020 г. стендовых испытаний тяжело нагруженного трансмиссионного шлицевого соединения вертолета МИ-26 с DLC-покрытием и модифицированным трансмиссионным маслом. Покрытие системы (CrAlSi)N +DLC способствовало снижению объема износа в 4,5 раза при режиме испытаний с нагрузкой 30000 Н и количестве циклов 1000000.

4. Обоснованность научных положений и достоверность результатов исследований

Обоснованность научных положений и достоверность результатов исследований подтверждается:

– использованием основных положений теории трения, износа и смазки, физики, химии, материаловедения, современных численных расчетов;

– результатами проведенных экспериментальных триботехнических исследований;

– использованием современного испытательного оборудования, известных физических методов: оптической металлографии, электронной микроскопии, рентгеновской и оже-электронной спектроскопии, микро- и нано-индентирования, лабораторных исследований;

– корректностью определения метрологических характеристик с использованием современных приборов и компьютерных технологий;

– согласованностью результатов с данными, полученными экспериментальным путем автором и другими исследователями.

5. Полнота изложения материалов диссертации в открытой печати

Научные результаты диссертационной работы опубликованы в 10 рецензируемых научных журналах и изданиях из перечня ВАК и входящих в международные базы цитирования Scopus, Web of Science, Springer, Chemical Abstract, получен 1 патент РФ (2015 г.)

Апробация работы осуществлена на всероссийских и международных научно-технических конференциях различных уровней. Опубликованные по результатам исследований материалы достаточно полно отражают основное содержание диссертации, имеются ссылки на авторов и источники заимствования материалов.

6. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Выполненные Новиковым Е.С. исследования открывают новые возможности повышения износостойкости металлополимерных трибосистем. Диссертантом установлено, что некоторые элементы

периодической таблицы Д.И. Менделеева способствуют упрочнению, а другие – разупрочнению поверхностей металлического контртела, что позволило:

– сформулировать критерии по выбору наполнителей для композиционных полимерных материалов, разработать способ аттестации элементов, способствующих упрочнению контактирующих пар, а также технологию транспортировки добавок упрочняющих элементов с помощью трения в поверхностный слой металлического трибоконтакта;

– установить закономерности образования высокопрочных и антифрикционных поверхностных слоев тяжело нагруженных трибосопряжений, позволившие выбрать легирующие элементы и разработать технологию формирования алмазоподобных DLC-покрытий, способствующие повышению износостойкости.

В результате исследований автором созданы износостойкие композиционные материалы и разработана технология формирования алмазоподобных DLC-покрытий на поверхности трибоконтакта с новыми триботехническими характеристиками и осуществлена широкая их проверка на лабораторных и стендовых установках тормозной системы «колесо – тормозная колодка» подвижного состава и трансмиссионных шлицевых соединений вертолета МИ-26.

Результаты работы могут быть использованы при создании новых и эксплуатации существующих машин и механизмов. Результаты диссертационного исследования рекомендуется использовать на предприятиях авиационного, железнодорожного транспорта, станкостроения, общего машиностроения, космической отрасли и др.

7. Замечания по диссертационной работе

1. Автор считает, что одной из центральных задач в трибологии является изучение процессов диффузии и сегрегации в металлополимерных трибосистемах. Им представлена разработанная методика аттестации элементов, способствующих упрочнению контактирующих сопряжений. Предложена технология транспортировки этих элементов в поверхностный слой металлического контртела в узлах трения фрикционного назначения (тормозная колодка). Однако в диссертационной работе не представлены исследования по реализации транспортировки элементов в поверхностный металлический слой в антифрикционных металлополимерных трибосистемах.

2. В диссертации приведены технологии нанесения трех видов покрытий на подложку: одинарное DLC-покрытие, DLC-покрытие с предварительной ионной имплантацией элементов, комбинированное покрытие, технология которого включает ионную имплантацию, нанесение нитридного покрытия системы CrAlSiN в качестве внутреннего износостойкого слоя. Однако автором не приведены результаты исследований адгезионного взаимодействия данных покрытий с подложкой и между слоями.

3. При изучении сегрегации элементов вблизи свободной металлической поверхности трибосопряжения не приведены исследования на предмет распределения элементов у свободной поверхности: происходит скопление конкретных элементов, образование вторичных фаз или обеднение поверхности. Это важно для формирования защитных смазочных пленок путем взаимодействия их молекул с атомами элементов, находящихся на свободной поверхности.

4. В четвертой главе диссертации отмечено, что стендовые испытания тяжело нагруженных модифицированных покрытий, нанесенных на трансмиссионные шлицевые соединения и предназначенных для хвостового вала вертолета МИ-26, показали положительные результаты. Но не отражено, в каком температурном диапазоне внешней среды будут работать предлагаемые покрытия.

5. При проведении стендовых испытаний тяжело нагруженных модифицированных покрытий подробно дается описание стенда, режимы триботехнических испытаний. Вместе с тем неясно, какими параметрами отличаются режимы испытаний на стенде (частота и амплитуда перемещений, нормальная нагрузка) от реальных условий на вертолете МИ-26.

8 Заключение

Отмеченные выше замечания и недостатки не снижают ценности диссертации Новикова Евгения Сергеевича. В работе сформулирован и научно обоснован новый подход изучения диффузионно-сегрегационных процессов в зоне металлополимерного трибосопряжения с использованием квантово-химических расчетов и на основе этого разработан способ аттестации элементов трибосистемы, способствующих упрочнению контактирующих трибосопряжений, а также технология транспортировки этих элементов в поверхность металлического контртела.

Для металлических тяжело нагруженных трибосистем установлены закономерности образования высокопрочных и антифрикционных поверхностных слоев путем выбора класса легирующих элементов и режимов алмазоподобных DLC-покрытий.

Разработанные и примененные автором технологии позволили увеличить износостойкость трансмиссионных шлицевых соединений вертолета МИ-26 и тормозной системы «колесо – тормозная колодка» подвижного состава.

Апробация работы осуществлена на международных научно-технических конференциях.

Содержание диссертации достаточно полно изложено в автореферате и в опубликованных работах, личный вклад автора подтвержден. Результаты диссертации Новикова Е.С. опубликованы в 10 научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, 9 публикаций в изданиях, включенных в международные базы данных Scopus, Web of Science, Springer, Chemical Abstracts, в 1 патенте.

Диссертация Новикова Е.С. выполнена в соответствии с паспортом специальности 05.02.04 – «Трение и износ в машинах».

Диссертация Новикова Е.С. «Установление закономерностей изменения структурно-фрикционных свойств тяжело нагруженных металлополимерных и металлических трибосистем и разработка методов повышения их износостойкости» выполнена самостоятельно на достаточно высоком научном уровне. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены новые закономерности изменения структурно-фрикционных свойств тяжело нагруженных металлополимерных и металлических трибосистем, методы их исследования, обеспечивающие повышающие износостойкости, надежности и долговечности тяжело нагруженных трибосопряжений современных транспортных машин и механизмов, имеющие существенное значение для развития машиностроительных отраслей страны.

Диссертация соответствует требованиям критериев «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям. Содержание диссертации соответствует специальности 05.02.04 – «Трение и износ в машинах», а ее автор, Новиков Евгений

Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.04 – «Трение и износ в машинах».

Диссертации Новикова Е.С. обсуждена и отзыв принят единогласно на заседании кафедры «Автомобили и транспортно-технологические комплексы Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова «18» февраля 2021 г., протокол № 10.

Заведующий кафедрой «Автомобили и транспортно-технологические комплексы» ЮРГПУ (НПИ)

кандидат технических наук,
доцент

Сиротин Павел Владимирович

Отзыв составлен доктором технических наук, профессором кафедры «Автомобили и транспортно-технологические комплексы» ЮРГПУ (НПИ) (специальность 05.02.04 «Трение и износ в машинах»)

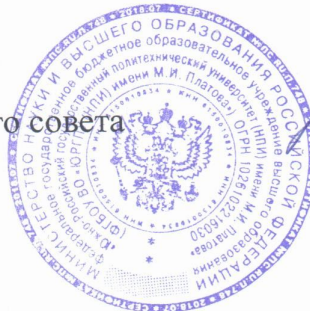
Шульгой Геннадием Ивановичем

Адрес: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», 346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, тел.: (8635)255-448.

E-mail: rektorat@npi-tu.ru

Подписи Сиротина Павла Владимировича и Шульги Геннадия Ивановича заверяю

Ученый секретарь ученого совета



Н.Н.Холодкова