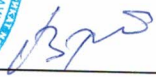




УТВЕРЖДАЮ
Директор ИМАС РАН
д.т.н., проф.


В.А. Глазунов
«24» _____ 11 _____ 2020 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАС РАН) на диссертацию Мантурова Дмитрия Сергеевича «Повышение износостойкости металлических и металлополимерных трибосистем путем формирования структуры и свойств их поверхностного слоя» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.04 – «Трение и износ в машинах»

Представленная на отзыв диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, библиографического списка из 201 наименований. Общий объем работы составляет 160 страниц и включает 48 рисунков и 14 таблиц и приложения с актами использования результатов диссертационной работы.

Актуальность темы диссертационного исследования

Решение проблемы обеспечения износостойкости, долговечности и эксплуатационных характеристик тяжело нагруженных как металлических, так металлополимерных узлов трения машин, механизмов, транспортных систем имеет большое значение. В этой связи возрастает потребность и необходимость в получении на трибоконтакте поверхностного слоя, обладающего способностью саморегулирования. Решение этой проблемы для металлополимерных трибосопряжений, автор находит в разработке функциональных наноматериалов, обеспечивающих образование на поверхности трибоконтакта вторичных структур, позволяющих направлено влиять на трибологические характеристики. Раскрытие механизма и кинетики образования вторичных структур является актуальным в плане разработки технологии создания самосмазывающихся композиционных полимерных материалов.

Что касается металлических узлов трения, то автором в сфере инженерии поверхности, проведены актуальные исследования в области современных методов модификации поверхности трения и разработаны критерии выбора материалов и режимов технологии нанесения поверхностей

для широкого диапазона нагрузок и скоростей. Учитывая, что реальные тяжело нагруженные трибосистемы работают в режиме граничного трения, автор разрабатывает высокоэффективные присадки к смазочным материалам, которые формируют вторичные структуры на трибоконтактной поверхности. Поддержка данных исследований грантами Российского научного фонда и Российского фонда фундаментальных исследований подтверждает важность и актуальность темы диссертационного исследования.

Общая методология и методика исследований.

Обоснованность методических приемов положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Для формирования новых знаний о функционировании металлополимерных и металлических трибосистем, а также разработки перспективных методов управления их фрикционными свойствами, автором предложена методика исследования поверхностного слоя с направленным перестраиванием его структуры и свойств.

Для выполнения поставленных задач в работе использовались фундаментальные положения в области физики, химии, материаловедения и трения, а также современные экспериментальные методики исследования состава, строения и свойств исследуемых материалов, покрытий и контактных поверхностей: оптической металлографии, электронной микроскопии, рентгеновского и оже-электронной спектроскопии, микро и нано-индентирования.

Решение обозначенных в диссертации актуальных задач иллюстрируется на установлении закономерностей формирования вторичных структур в металлополимерном узле трения, а также создание технологий модифицирования металлической поверхности путем ионно-плазменного напыления, а для смазочных материалов – на разработке высокоэффективных присадок к ним, способных к формированию вторичных структур на металлическом контртеле.

Для раскрытия степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы Дмитрия Сергеевича Мантурова рассмотрим по отдельности все изучаемые процессы, протекающие во фрикционном металлополимерном трибоконтакте и в узле трения «металл – металл».

Остановимся на проблеме образования вторичных структур на поверхности трения металлополимерных сопряжений (глава 2). Разработанная методика и проведенные исследования по изучению механизма формирования и функционирования вторичных структур позволили определить состав присадок и функциональных добавок к композиционным материалам, обеспечивающих наилучшие трибологические результаты – минимальный коэффициент трения и высокую износостойкость. При этом автором на основе

анализа механизма образования вторичных структур показано, что основным условием минимального коэффициента трения и высокой износостойкости является образование между трущимися поверхностями двухслойной структуры, выполняющей роль смазки и имеющей высокую адгезию к стальному контртелу за счет межмолекулярного химического взаимодействия через водородную связь между атомами Н и О, Н и F, что и способствует увеличению сил Ван-дер-Ваальса и общей энергии взаимодействия.

Рассмотрим исследование физико-механических и трибологических характеристик образцов с вакуумными ионно-плазменными покрытиями (глава 3). На основе разработанной автором методики нанесения ионно-плазменных покрытий и их металлофизических и трибологических исследований установлено, что покрытие CrAlSiN обладает максимальным сопротивлением пластической деформации H^3/E^2 , что является одним из показателей высокой износостойкости покрытия.

На основе результатов, проведенных автором во второй и третьей главах диссертации, предложены рекомендации по созданию новых износостойких композиционных материалов антифрикционного назначения, а также разработана научно-обоснованная технология получения вакуумных ионно-плазменных покрытий различных металлокерамических нитридных систем и режимов их нанесения.

Не вызывает сомнения высокий личный вклад автора диссертации в разработке предложенных методических приемов проведенных исследований. Особенно это наглядно демонстрируется на двух разработанных автором стендах:

- осуществлена широкая стендовая проверка, подтвержденная актами испытаний, полученных полимерных композиционных материалов в тяжело нагруженном узле трения подвижного состава – «пятник – подпятник»;
- практические результаты диссертационной работы также включают проверку научных исследований по разработке технологий и новых материалов для формирования ионно-плазменных износостойких покрытий, совместимых с составом смазочного материала, работающих в шлицевом соединении хвостовой трансмиссии вертолета МИ-26М.

Новизна и достоверность полученных результатов и выводов

Автор впервые провел исследования по изучению механизма образования вторичных структур в контактной области металлополимерных трибосистем и на этой основе разработал технологию рационального выбора наполнителей – аримида Т, шпинели, фторопласта – в матрицу фенилона С-2, позволившую значительно улучшить трибологические характеристики.

Основная новизна результатов работы подробно изложена в диссертации и автореферате. Следует отметить наиболее важные из них:

- разработанная автором научно обоснованная технология получения вакуумных ионно-плазменных покрытий различных металлокерамических нитридных систем в виде требований к поверхности трибоконтакта (подложке), режимов нанесения покрытий, позволила улучшить физико-механические и трибологические характеристики тяжело нагруженных трибосистем;

- показано, что только поверхности 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 ионно-плазменных покрытий, обладающих высокой износостойкостью;

- автором доказано, что толщина покрытия оказывает влияние на его износостойкость. Для гетерофазных покрытий системы CrAlSiN в качестве оптимальной толщины при использовании в тяжело нагруженных трибосопряжениях необходимо $1,0 \pm 0,2$ мкм. Износостойкость покрытия при малой его толщине объясняется пассивацией границы раздела «покрытие-подложка» сегментами краевых дислокаций, которые в тонкой пленке играют роль дислокаций несоответствия;

- автором установлено, что при граничном трении покрытия системы CrAlSiN минимизация коэффициента трения достигается путем применения серосодержащих присадок для модифицирования смазочных материалов, так как, отмечает автор, ионно-плазменные покрытия системы CrAlSiN способны хорошо адсорбировать электроно-донорные соединения.

Если говорить о степени достоверности, то результаты исследований получены, как мы уже отмечали, на основе фундаментальных положений в области физики, химии, материаловедения, трения, а также нанотехнологии, самоорганизации, современных методов экспериментальной физики и достаточно высоким экспериментальным подтверждением теоретических положений.

Значение выводов и рекомендаций, полученных в диссертации, для науки и практики. Рекомендации по использованию результатов диссертации в конкретных организациях

Представленные в работе выводы и рекомендации послужили научной основой для разработки путей повышения износостойкости узлов трения для:

- металлополимерных узлов трения путем раскрытия механизма и кинетики образования вторичных структур, позволяющих направленно изменять трибологические параметры узла трения;

- для металлических трибосистем путем синтеза технологий и материалов нанесения покрытий с заданными износостойкими свойствами методом вакуумной ионно-плазменной обработки контактных поверхностей трибосопряжений.

Основная практическая ценность исследований приведена в тексте диссертации и автореферата. Выполненные теоретические и экспериментальные исследования позволили разработать новый класс композиционных полимерных материалов и методы управления фрикционными свойствами металлических трибосистем путем многослойных покрытий с оптимизацией их нанесения.

Исследования завершены стендовой проверкой разработанных износостойких композиционных материалов в тяжелонагруженных трибосистемах подвижного состава – «пятник – подпятник» и приняты решения к их внедрению на Северо-Кавказской железной дороге (акт проведения испытаний прилагается). По ионно-плазменной модификации поверхности автором представлены предложения компании ПАО «Роствертол» по повышению износостойкости и надежности шлицевого соединения для вертолета МИ-26М. На основе разработанной автором технической и нормативной документации осуществлена широкая опытно-стендовая проверка на заводе ПАО «Роствертол», получившая положительные рекомендации по повышению износостойкости и надежности работы данного сопряжения.

Внутреннее единство структуры работы

Все главы диссертации представляют целостную структуру, в которой проведены исследования для тяжело-нагруженных узлов трения, как для металлополимерных, так и металлических трибосистем. Результаты диссертационного исследования достаточно полно представлены в публикациях соискателя. По материалам диссертационного исследования опубликовано 36 научных работ, в том числе 6 работ – в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ, 7 публикаций в изданиях, включенных в базы данных Scopus и WOS, 2 патента РФ. Опубликованные работы в полной мере отражают содержание представленной диссертации. Материалы работы были доложены на международных и российских конференциях. Автореферат полностью отражает содержание диссертации и охватывает все разделы.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Диссертация Мантурова Дмитрия Сергеевича соответствует паспорту специальности 05.02.04 – «Трение и износ в машинах» по следующим ее пунктам: п. 1 - «Механические явления при трении», п. 7 - «Триботехнические свойства материалов, покрытий и модифицированных поверхностных слоев», п. 11 – «Термодинамика и самоорганизация трибосистем».

Замечания по работе

1. В диссертации не сформулированы принципы создания композиционных материалов, которые при трении формируют оптимальные вторичные структуры на рабочих поверхностях контактирующих тел.
2. В диссертации не раскрыты принципы обеспечения совместимости контактирующих тел.
3. Исследование трибологических характеристик проводилось при комнатных температурах, в то время как температуры в реальных узлах трения в северных и южных районах нашей страны меняются в пределах +50 ...-50 °С.
4. Автором предложены достаточно эффективные экспериментальные методы исследования оценки количественного и качественного состава перенесенных на металлическое контртело поверхностных структур из композиционного полимерного материала с помощью ИК-спектроскопии, рентгеноэлектронной и оже-электронной спектроскопии. Однако остается неясным, справедливы ли они для любого класса металлополимерных трибосистем и каковы пути широкого практического использования полученных закономерностей в различных областях техники?
5. Из текста диссертации не понятно, как проводилась обработка результатов эксперимента (не указана дисперсия, доверительный интервал и прочее).
6. В диссертации не указано, для каких диапазонов нагрузок и скоростей скольжения допустимо применение разработанных автором композиционных полимерных материалов, а также модификации металлической поверхности методами вакуумной ионно-плазменной обработки.

Отмеченные замечания работы Мантурова Д.С. не снижают существенным образом уровня рассматриваемой диссертации, выполненной на достаточно высоком научно-техническом уровне. По работе рекомендуется принять следующее заключение.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней»

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную автором самостоятельно на высоком уровне, в которой содержатся новые научные результаты и технологические решения в области изучения механизма образования вторичных структур на металлополимерном трибоконтакте поверхностного слоя, обладающего способностью саморегулирования, а также в разработке критериев выбора материалов и режимов технологии модифицирования металлической поверхности трибоконтакта. Использование полученных

