ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора Елагиной Оксаны Юрьевны на диссертационную работу Азоян Анаид Иосиповны «Повышение эксплуатационных свойств функционального полимерного материала путем его модификации», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.3. Трение и износ в машинах

Представленная диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, библиографического списка из 218 наименований, приложения с 2 техническими актами испытаний и актом внедрения результатов диссертационной работы. Изложена на 146 страницах машинописного текста, включая 40 рисунков и 12 таблиц.

1. Актуальность темы диссертационного исследования

Современные достижения в области полимерных композиционных материалов открывают новые возможности повышения надежности и долговечности узлов трения. Эти материалы не только демонстрируют улучшение механических и термических свойств, но и позволяют снизить интенсивность износа и расход материальных ресурсов. Использование полимеров с модификаторами в матрице способствует созданию более эффективных рабочих параметров, обеспечивая долговечность и стабильность работы машин.

Исследования в области трибологии полимерных композитов помогут еще глубже понять их поведение в условиях различных нагрузок и температур, что станет основой для разработки новых более эффективных антифрикционных композиционных материалов. Разработка новых методик и способов нанесения полимерных покрытий позволит увеличить срок службы имеющегося металлообрабатывающего оборудования, межремонтный ресурс и эффективность его использования. Повышение надежности и долговечности тяжелонагруженных узлов трения является важнейшим этапом при решении указанных задач.

Постановка и решение перечисленных задач определило актуальность представленного диссертационного исследования.

2. Оценка структуры, содержания и оформления диссертации

Содержание диссертации изложено в форме, позволяющей получить полное представление о проведенных автором исследованиях. Работа написана грамотным научным языком, аккуратно оформлена в соответствии с установленными требованиями. По каждой главе и работе в целом сделаны четкие выводы.

Корректность изложения научного материала, наглядная иллюстрация полученных результатов в виде рисунков и таблиц позволяют объективно оценивать содержание, выводы и значимость проведенных научных исследований.

Во **введении** обоснована актуальность темы исследования, приведен обзор современного состояния рассматриваемой проблемы в мировой науке. Определены цели и задачи диссертационной работы, отмечена научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов. Приводятся сведения об апробации и публикациях автора по теме исследования.

В **первой главе** дается обзор современных исследований российских и зарубежных ученых в области механики контактного взаимодействия и физики трения. Проведен анализ условий образования и формирования вторичных структур. Анализ изученных материалов показал перспективность направления диссертации, а также актуальность создания и исследования модифицированного полимерного материала.

Во второй главе приведена постановка контактной задачи теории упругости о действии жесткого штампа на изотропный упругий двойной слой. Поставленная задача сводится к совместному решению термоупругих уравнений Дюгамеля–Неймана и стационарного уравнения теплопроводности. Дальнейший расчет сопровождался преобразованием системы в уравнения Ламе с температурными членами и уравнение теплопроводности для двухслойной полосы с тремя сериями граничных условий. В силу предположения о малости толщины полосы было построено вырожденное асимптотическое решение задачи нулевого порядка. Анализ вырожденного решения плоской контактной задачи для двухслойной полосы при учете тепловыделения в зоне контакта показал, что двухслойное основание в рамках рассмотренной модели ведет себя как основание Фусса–Винклера с добавлением температурных членов. При этом показана зависимость упругих перемещений как от осадки штампа, так и от формы контактирующей поверхности. Заключительным этапом постановки контактной задачи было построение конечно-элементной модели в программном комплексе ANSYS.

В **третьей главе** подробно описаны синтез композиционных материалов и методика определения их физико-механических и трибологических свойств, а также основные данные об оборудовании, инструментах и образцах. Обоснована необходимость структурного плана в методике экспериментальных исследований.

Четвертая глава посвящена экспериментальным исследованиям. На первом этапе автором определяется концентрация армирующих и антифрикционных наполнителей. Показано влияние модификаторов в полимерной матрице на физико-механические и трибологические свойства, а также тепловые процессы, происходящие в зоне трибоконтакта. Получен функциональный полимерный материал, обладающий наибольшей термической устойчивостью.

Экспериментально доказано, что у полимера ЭД-20 + 6 % шпинели + 6 % ПТФЭ по сравнению с другими составами термическая деструкция происходит при более высоких температурах (от 369 С), при этом суммарная потеря массы показала наименьшее значение – 63,28 %. Далее была определена кинетика образования вторичных структур на поверхности контртела в металлополимерном узле.

В **пятой главе** представлены практические рекомендации по повышению износостойкости узла трения «накладка направляющей поворотного стола – станина станка». Анализ напряженно-деформированного и теплового состояний рассматриваемого узла трения станка типа 2А622 подтвердил результаты экспериментальных исследований. Промышленные испытания накладок с композиционным покрытием на предприятии ООО «РостИнТех» показали повышение износостойкости предлагаемых накладок по сравнению со штатными на 14-16%.

В заключении приводятся итоги выполненной работы (заключение и общие выводы, рекомендации и перспективы дальнейших исследований по теме диссертации).

В приложении представлены Акты технических испытаний в ООО РосИнТех» и ООО «ТПК СХТ», а также Акт внедрения результатов диссертационного исследования ФГБОУ ВО РГУПС.

Диссертационная работа представляет последовательный, логичный, и законченный научный труд.

Автореферат в полном объеме отражает основное содержание текста диссертации. Материал, представленный в автореферате, четко структурирован, изложен понятным и грамотным языком и позволяет сформировать полное представление о научной ценности и практической значимости результатов.

3. Научная новизна и достоверность основных результатов и выводов

Научная новизна работы заключается в установлении закономерностей влияния наполнителей на эксплуатационные свойства антифрикционных полимерных материалов. К наиболее значимым научным результатам работы можно отнести следующие:

1. Выполнена оценка влияния наполнителей на трибологические свойства модифицированного полимерного материала.

2. Проведен анализ механизма формирования вторичных структур методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, что позволило установить их влияние на трибологические и физико-механические свойства композита.

3. По результату аналитического представления вырожденного решения плоской контактной задачи для двухслойной полосы разработана конечно-элементная модель для анализа напряженно-деформированного и теплового

состояний реального узла трения (накладки направляющих горизонтально-расточного станка типа 2А622).

Достоверность сделанных выводов обеспечивается правильной формулировкой и реализацией основной цели научных исследований. Полученные в диссертации результаты являются новыми и, несомненно, представляют научный интерес. Достоверность результатов научного исследования обусловлена физической обоснованностью модели контактного взаимодействия.

4. Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, которые содержатся в диссертации, подтверждается внутренней непротиворечивостью результатов и логической целостностью работы, широтой представительства анализируемых научных трудов отечественных и зарубежных авторов. По теме диссертации было проанализировано 218 источников.

Основные научные результаты исследований опубликованы в 18 работах, в том числе 3 работы в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ. Работы охватывают практически все основные главы диссертационной работы и отражают ее результаты. Имеются ссылки на авторов и источники заимствования. Результаты исследований прошли достаточную апробацию и были изложены на всероссийских и международных научно-технических конференциях.

Соискателем проведена верификация полученных теоретических результатов на предприятии ООО «РостИнТех».

Таким образом, можно сделать вывод, что научные положения, выводы и рекомендации, которые содержатся в диссертации Азоян А.И., являются в достаточной степени обоснованными и достоверными.

5. Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость диссертации для науки заключается в том, что

- проведенный аналитический расчет и разработанная на его основе конечно-элементная модель для анализа напряженно-деформированного и теплового состояний с учетом влияния теплофизических параметров, полученных как из справочной литературы, так и в результате проведенных трибологических, физико-механических и тепловых исследований, являются значительным вкладом в методологию расчета задач контактного взаимодействия деформируемых твердых тел;

- на основании исследования влияния наполнителей на термическую устойчивость композита открываются новые возможности для улучшения физико-механических и трибологических свойств металлополимерного трибосопряжения, что позволяет не только повысить износостойкость, но и управлять процессами

формирования вторичных структур в зоне трения, а это, в свою очередь, является важным аспектом для обеспечения стабильности работы узлов трения.

Практическая значимость диссертации заключается в том, что:

- сформулированы рекомендации по выбору армирующих и антифрикционных наполнителей;
- установлен механизм образования вторичных структур и показано, что процесс их формирования походит в определенной последовательности;
- полученные результаты легли в основу конкретных практических рекомендаций, направленных на повышение износостойкости узлов трения и продления межремонтного периода эксплуатации оборудования, что делает работу автора востребованной в таких отраслях как машиностроение, станкостроение и ремонтное производство.

6. Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Содержание диссертации полностью соответствует паспорту специальности 2.5.3. Трение и износ в машинах в части следующих областей исследования: п. 2 «Механика и физика контактного взаимодействия при трении покоя, трении скольжения, трении качения и качения с проскальзыванием с учетом строения, качества и свойств поверхностных слоев»; п. 7 «Триботехнические свойства материалов, покрытий и модифицированных поверхностных слоев»; п. 9 «Теплофизика и тепловая динамика трения и изнашивания»; п. 10 «Физическое и математическое моделирование трения и изнашивания. Расчет и оптимизация узлов трения и сложных трибосистем».

7. Замечания по диссертационной работе

1. Расчет напряженно-деформированного и теплового состояний узла трения «накладка направляющей поворотного стола – станина станка» горизонтально-расточного станка 2А622, выполненный в разделе 5.1 на основе численного решения контактной задачи раздела 2.4, показал, что применение состава смола ЭД-20 + 6 % шпинель + 6 % ПТФЭ обеспечивает наименьшее значение температуры разогрева полимерного слоя. Это, согласно выводу раздела 5.1, «способствует улучшению механических свойств и повышению устойчивости к термическому разложению». Однако анализ результатов трибологических испытаний главы 4 показывает, что снижение температуры разогрева привод к существенному росту коэффициента трения, что также отмечено в работах [181–182] (см. раздел 4.2). Остается не ясно, каким образом рост коэффициента трения при снижении температуры разогрева контактного слоя приведет к повышению износостойкости накладки.

2. При выборе компонентов для состава композиционного материала в разделе 3.2 указан ряд термопластичных полимеров, из которых была выбрана эпоксидно-диановой смолы марки ЭД-20. Однако, остается не ясным на основании каких данных был сделан данный выбор и какие критерии были взяты для его обоснования. Также отсутствует сравнение армирующих наполнителей при обосновании выбора шпинели металлов (Mn, Mg, Fe).

3. При проведении трибологических испытаний на трибометре TRB (Anton Paar) по схеме испытаний «шар – диск» и машине трения торцевого типа по схеме «палец – плоский диск» образцы исследованных композитов изнашивались при разном контактном давлении: 58,8 – 88,8 МПа (стр. 67) и 0,3 МПа (стр. 70) соответственно. Результаты испытаний показали, что диапазоны значений коэффициента трения существенно отличаются: 0,08-0,15 (рисунок 4.1) и 0,18-0,76 (рисунок 4.2) соответственно. Это указывает на существенный вклад в формирование антифрикционных свойств температуры разогрева контактной поверхности. Однако из итоговых выводов по работе не ясно, как был учтен этот факт при оценке эффективности разработанного полимерного материала.

4. В диссертации имеются незначительные погрешности оформления, в частности, видимо, допущена опечатка в подрисуночной подписи к рисунку 4.1.

8. Заключение

Диссертация Азоян Анаид Иосиповны «Повышение эксплуатационных свойств функционального полимерного материала путем его модификации» является самостоятельной завершенной научно-квалификационной работой, актуальной для современной науки и машиностроения и обладающей научной новизной. В работе изложены новые научно обоснованные технические, технологические решения и разработки в сфере повышения износостойкости металлополимерных трибосистем путем формирования вторичных структур поверхностных слоев в трибосопряжениях, имеющих существенное значение для ремонтного производства при использовании технологии восстановления поверхности деталей машин.

Анализ содержания диссертации и публикаций по теме позволяет сделать вывод, что диссертационная работа по актуальности избранной темы, характеру рассматриваемых вопросов, поставленных и достигнутых целей и задач, значению для теории и практики соответствует критериям «Положения о присуждении научных степеней» (п. 9-14), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Азоян Анаид Иосиповна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.3. Трение и износ в машинах.

Официальный оппонент: Елагина Оксана Юрьевна, доктор технических наук по специальностям 05.03.06 «Технология и машины сварочного производства», 05.02.01 «Материаловедение (машиностроение)», профессор, заведующая кафедрой «Трибология и технология ремонта нефтегазового оборудования» ФГАОУ «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина».

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

Елагина Оксана Юрьевна
«12» 02 2025 г.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина»
119991, г. Москва, проспект Ленинский, д 65, корп. 1.
Тел. 8(499)507-85-52,
E-mail: elaguina.o@gubkin.ru