

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу *Афанасьевой Анны Алексеевны* «**Разработка и исследование фрикционного материала для муфт сцепления с повышенными эксплуатационными характеристиками**», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 Материаловедение

Актуальность темы диссертации

В передаточных и тормозных узлах машин и механизмов широко применяются фрикционные материалы, которые, в отличие от антифрикционных, должны обладать высоким коэффициентом трения. Рост энергонасыщенности современных передаточных и тормозных устройств требует создания и применения новых фрикционных материалов, способных работать во все более тяжелых условиях с высоким уровнем работы трения. При этом наряду с повышением коэффициента трения необходимо обеспечить его стабильность, а также хорошую износостойкость материала. Здесь необходимо заметить, что в общем комплексе многосложных динамических факторов, влияющих на работу трибосопряжений, исключительно велика роль материаловедческих аспектов, остающихся все еще недостаточно изученными в силу сложности проведения исследований. Исходя из вышеизложенного, несомненна актуальность рецензируемой диссертации, посвященной разработке порошкового фрикционного материала с высоким уровнем эксплуатационных свойств для использования в муфтах сцепления железнодорожных стрелочных электроприводов. Эти детали, передающие вращательный момент от электродвигателя блоку главного вала, выполняют основную функцию в стрелочных электроприводах, предназначенных для быстрого и бесперебойного перевода острияков железнодорожных стрелок и занимающих особое место в железнодорожном движении.

Структура и содержание диссертации

Диссертационная работа изложена на 145 страницах, содержит 43 рисунка, 8 таблиц и состоит из введения, 5 глав, заключения, списка использованной литературы из 130 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована основная цель исследований, определены задачи, представлены научная новизна и практическая ценность результатов, перечислены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе на основе обзора научных работ и технико-экономического анализа рассмотрены принципы создания, преимущества и недостатки современных фрикционных материалов, используемых в тяжело нагруженных механизмах, что позволило обозначить круг существующих проблем применительно к муфтам сцепления железнодорожных стрелочных электроприводов и предложить пути их решения в виде сформулированных целей и задач диссертации.

Во второй главе дано описание и рассмотрена роль основных исходных компонентов, входящих в состав разрабатываемого фрикционного материала (металлической матрицы, фрикционных наполнителей, неметаллических смазок), и способа его изготовления (спекание порошковой шихты). Поскольку матрица помимо железа содержала до 15-30 масс. % меди, то можно говорить о применении комбинированной металлической матрицы. С учетом того, что материалы на основе меди, как правило, применяются в

узлах трения со смазкой, а материалы на основе железа в узлах трения без смазки, то сочетание этих металлов в экспериментальном материале представляет несомненный интерес. По изложенным в этой главе использованным методам изучения структуры, фрикционных и эксплуатационных свойств порошковых металлокомпозиций, влияния на них процентного содержания ингредиентов, технологических факторов, нагрузочных параметров и т.п., можно отметить следующее. Во-первых, для получения эмпирической зависимости состав-структура был использован метод факторного планирования экспериментов. Во-вторых, особый интерес представляют результаты оценки новых количественных параметров структуры, для чего соискателем применена компьютерная металлография (анализ изображений структуры выполнен при помощи программного пакета ImageExpert Pro Plus 5.1).

В третьей главе раскрываются теоретические представления о механическом истирании гетерогенно-структурных материалов с учетом явлений на поверхностях, участвующих в контактно-фрикционном взаимодействии. Поскольку в основе этих явлений лежат процессы пластической деформации и критическая деградация поверхностного активного слоя вплоть до формирования конечных частиц износа, то это послужило обоснованием для проведения оценки сопротивляемости материала механическому истиранию по деформационным свойствам (по параметру микротвердости каждой структурной составляющей). С использованием положений механики трения, уравнения Холломона, связывающего напряжения и деформации, уточненного уравнения механического истирания и понятия потенциала пластической деформации, определяемого с введением параметра микротвердости, предложено выражение для оценки относительной износостойкости отдельных структурных составляющих материала.

Четвертая глава посвящена результатам полного факторного эксперимента по выбору составов материалов для фрикционных муфт стрелочного электропривода (варьируемыми факторами являлись весовые массовые концентрации меди и фрикционных добавок), результатам исследования микроструктуры и свойств, анализа взаимосвязи между показателями микроструктуры, определения физико-механических и эксплуатационных свойств этих материалов. Получены регрессионные уравнения, устанавливающие связь между составом, показателями структурной организации и физико-механическими характеристиками фрикционного материала, что позволяет выбирать оптимальное процентное содержание компонентов для обеспечения требуемых фрикционных свойств (или прогнозировать состав фрикционного материала, задавая необходимые свойства). Изучены различия в микростроении поверхностей трения трех образцов материала, ранжированных по стабильности коэффициента трения. Параметр девиации коэффициента трения предложен в качестве нового параметра оценки эксплуатационных свойств фрикционного материала.

В пятой главе представлены результаты стендовых испытаний экспериментальных материалов в составе муфты сцепления, проведенных с целью выбора наиболее рациональной рецептуры для обеспечения стабильного функционирования стрелочного электропривода в тяжелых условиях эксплуатации. Кроме того установлено влияние режима спекания на показатель структурной организации и эксплуатационные свойства разработанных материалов. Выявлено, что материалы с меньшим значением плотности границ зёрен обеспечивают более высокие значения тягового усилия на шибере стрелочного электропривода. Выбран лучший состав из исследуемых композиций (в

частности, по параметру стабильности коэффициента трения). Оценка периода стойкости к износу этого материала составила более 300 секунд (для сравнения: период стойкости материала-аналога составил 90 секунд); при этом износ оказался в 2 раза ниже значения износа материала-аналога. Важно также, что себестоимость разработанного фрикционного материала в 4 раза меньше себестоимости существующих аналогов.

Достоверность и обоснованность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректным использованием методов экспериментальных исследований с применением современного технологического и аналитического оборудования, методов планирования эксперимента, статистической обработкой экспериментальных данных, использованием стандартных компьютерных программ. Основные результаты работы основываются на количественном анализе параметров микроструктуры в исследуемых составах фрикционных материалов, анализе физико-механических и эксплуатационных свойств; полученные данные интерпретируются, исходя из известных положений материаловедения, металлофизики, трибологии, физики прочности и пластичности. Выводы убедительны и последовательно вытекают из экспериментальных исследований.

Научная новизна и значимость работы

Решение большинства проблем трибологии связано с изучением закономерностей явлений в зоне контактного взаимодействия. По сравнению с уровнем развития механики трения издавна наблюдается отставание в области изучения материаловедения, физикохимии процессов трения. Во многом это обусловлено сложностями в проведении экспериментально-аналитических исследований многофакторных динамических явлений при трении. В связи с этим, на взгляд рецензента, основную научную новизну и значимость результатов диссертации можно определить как вклад в трибоматериаловедение, состоящий в установлении качественных и количественных параметров, достаточно полно отражающих взаимосвязь структуры материала с получаемой совокупностью трибологических свойств и технологическими особенностями. Важно также отметить весьма универсальный характер разработанной методики установления этих количественных взаимосвязей. Полученные результаты расширяют возможности целенаправленного подхода к выбору/разработке материалов при проектировании трибологических узлов машин и механизмов.

Практическая значимость результатов диссертации и рекомендации по их использованию

В результате проведенных исследований проведена оптимизация по элементному составу и микроструктуре порошкового фрикционного материала в целях стабилизации коэффициента трения и повышения износостойкости. Разработан новый фрикционный материал с высокими эксплуатационными характеристиками; использование во фрикционных муфтах качественных высокоэффективных материалов, устойчивых в сложных условиях комплексного силового и температурного воздействия на контакте, позволит повысить долговечность и надежность работы стрелочного электропривода, снизить затраты на его изготовление и обслуживание, будет способствовать обеспечению безопасности железнодорожного движения. Результаты диссертации могут быть

использованы для исследований и разработки составов новых фрикционных материалов с определёнными физико-механическими и эксплуатационными свойствами. Полученные регрессионные уравнения позволят значительно сократить объём лабораторных исследований, на раннем этапе отсеивая составы материалов с низкими показателями свойств. Практическая значимость результатов подтверждена тремя патентами РФ.

Замечания и вопросы по диссертации

По диссертации имеются несколько замечаний и вопросов:

1. В работе приведены расчётные данные по относительной износостойкости фрикционного материала, но в ходе проведения фрикционных испытаний она фактически не измерялась.

2. В главе 5 представлены данные значений параметра плотности границ зёрен, полученных в результате применения определённых режимов спекания, но нет данных об изменении физико-механических свойств.

3. Каковы границы применимости используемой для выбора материала методики многофакторного анализа при выборе нового материала или изменении состава компонентов?

4. Представляется не совсем удачным название главы 3 («Теоретические представления о механическом истирании гетерогенно-структурных материалов»), так как в ней не просто описаны существующие представления в этой области, а можно говорить об их развитии применительно к задачам работы. Основным здесь является получение выражения, устанавливающего зависимость между макропараметром (относительной износостойкостью) и микротвердостью, то есть параметром, характеризующим состояние микроструктуры.

5. В выводах было бы полезно привести данные по микростроению поверхностей трения, так как эти данные описывают особенности трибодеструкции в зависимости от рецептуры образца материала и, по сути, раскрывают механизмы, обеспечивающие улучшение уровня стабильности коэффициента трения и износостойкости.

6. В целом диссертационная работа изложена логично и последовательно, оформлена на достаточно хорошем уровне, но тем досаднее весьма значительное количество грамматических ошибок и опечаток в тексте. В качестве примеров можно привести некоторые из них.

Стр. 16. Термин «... в условиях трения-скольжения» следует писать отдельно: «... в условиях трения скольжения».

Стр. 21. Написано: «Процесс торможении...». Надо: «Процесс торможения...».

Стр. 27. Написано: «Металлическая матрица ... предаёт материалу: жаропрочность, износостойкость...». Надо: «Металлическая матрица ... придаёт материалу: жаропрочность, износостойкость...».

Стр. 29, 32. «Дисперсионному твердению» вместо «Дисперсионному твердению».

Стр. 64. Написано «уравнение Холломона». Надо: «уравнение Холломона».

Стр. 82. Неправильно расшифрован порядок обозначений: написано «где $S_{Ж}$, $S_{М}$, $S_{Л}$ - занимаемая $S_{и}$ включениями, $F_{е}$ матрицей и порами относительная площадь поверхности изображения структуры». Надо: «... $F_{е}$ матрицей, $S_{и}$ включениями и порами ...».

Стр. 92, 93. «Эмитировать» вместо «имитировать».

Следует отметить, что замечания не являются принципиальными и не снижают общую научную ценность диссертационной работы.

Заключение

По своей актуальности, уровню решенных задач, научной новизне, теоретической и практической значимости, обоснованности научных положений и выводов, достоверности полученных результатов, уровню апробации и опубликованию основных положений в печати диссертационная работа *Афанасьевой Анны Алексеевны* «Разработка и исследование фрикционного материала для муфт сцепления с повышенными эксплуатационными характеристиками» соответствует требованиям пп. 9-14 Положения ВАК РФ, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор *Афанасьева Анна Алексеевна* заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение (технические науки).

Официальный оппонент:

главный научный сотрудник отдела общего материаловедения
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный
исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской
академии наук» Институт физико-технических проблем Севера им В.П. Ларионова
Сибирского отделения Российской академии наук,
доктор технических наук, профессор
(специальность 05.02.01 Материаловедение (машиностроение))

_____ Яковлева Софья Петровна

« 1 » марта 2023 г.

телефон: 8(4112)39-05-77;
e-mail: spyakovleva@yandex.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный
исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской
академии наук» Институт физико-технических проблем Севера им В.П. Ларионова
Сибирского отделения Российской академии наук (ИФТПС СО РАН)

Почтовый адрес организации: 677980, Якутск, ул. Октябрьская, 1, ИФТПС СО РАН;
телефон: 8(4112) 39-06-00;
e-mail: protodyakonova_iptpn@mail.ru;

Подпись С.П. Яковлевой ЗАВЕРЯЮ:

Ученый секретарь ИФТПС СО РАН,
к.ф.-м.н.

_____ Н.А. Протодыконова

« 1 » марта 2023 г.