

«УТВЕРЖДАЮ»  
Директор ИФПМ СО РАН  
Е.А. Колубаев  
\_\_\_\_\_ 2023 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения  
науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения  
Российской академии наук (ИФПМ СО РАН)

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 (технические науки)

На отзыв представлены рукопись и автореферат диссертации «Разработка и исследование фрикционного материала для муфт сцепления с повышенными эксплуатационными характеристиками».

**1. Актуальность темы исследования.** Разработка новых композиционных материалов, способных эффективно работать в муфтах сцепления при возрастающих нагрузках на механизмы, является актуальной задачей. Отрасль железнодорожного транспорта регулярно нуждается в новых материалах, способных удовлетворять повышенным требованиям по безопасности, рентабельности и функциональности. Одним из таких устройств является стрелочный электропривод. Основная задача устройства бесперебойно функционировать во всём широком диапазоне регулировок, независимо от погодных условий.

Одним из ключевых элементов устройства, обеспечивающих его работоспособность, является фрикционная муфта, состоящая из композиционных вставок и удерживающего диска. Существующие составы

фрикционных материалов, предназначенные для работы в составе данного устройства, уже не способны в полной мере удовлетворять всем возрастающим требованиям. По этой причине создание новых материалов, обладающих повышенными эксплуатационными характеристиками в сочетании с оптимальной рентабельностью, является актуальной задачей.

## **2. Научная новизна** работы заключается в следующем:

1. Определена связь между показателем структурной организации, твердостью и относительной износостойкостью к механическому истиранию материала фрикционной вставки, используемого в муфтах сцепления.

2. На основе регрессионных уравнений, полученных в результате экспериментальных исследований, установлена взаимосвязь между составом компонентов, показателями структурной организации и физико-механическими характеристиками материала фрикционной вставки.

3. Выявлено влияние количественного состава компонентов, используемых для изготовления материала фрикционной вставки муфты сцепления, на стабильность изменения во времени значений коэффициента трения.

4. Экспериментально продемонстрировано влияние режима термической обработки на показатель структурной организации и эксплуатационные свойства разработанного материала фрикционной вставки муфты сцепления.

**3. Практическая значимость** представленной работы связана с полученным в результате ее выполнения и внедрённым в производство составом материала фрикционной вставки (включая форму и диск для её крепления), что обеспечивает необходимые физико-механические и эксплуатационные свойства. Предложенная методика экспериментальных исследований позволяет на основе химического состава и свойств компонентов прогнозировать физико-механические и эксплуатационные характеристики материалов, используемых для изготовления фрикционных вставок.

**4. Структура и содержание работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, основных результатов и выводов, списка использованной

литературы. Диссертационная работа содержит 162 страницы основного текста, 10 таблиц, 60 рисунков и список литературы, включающий 125 наименований.

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, обозначена основная цель, определены задачи и сформулирована научная новизна, охарактеризована практическая ценность, основные направления реализации диссертационной работы, приведены основные положения, выносимые на защиту, а также обзор содержания диссертации.

**В первой** главе проведен технико-экономический анализ существующих фрикционных материалов, показавший необходимость разработки нового материала, способного соответствовать возросшим эксплуатационным требованиям стрелочных электроприводов.

**Во второй** главе описаны методы и материалы, использованные для изготовления фрикционных вставок исследуемых составов, методики исследований микроструктуры, физико-механических и эксплуатационных свойств; приведено описание использованного исследовательского оборудования.

**Третья** глава посвящена установлению взаимосвязи между относительной износостойкостью материалов фрикционных вставок и экспериментально оцениваемыми значениями структурно чувствительных показателей. Описана предложенная методика проведения расчета.

**В четвертой** главе приведены результаты исследований, посвященных рациональному выбору составов материалов вставки фрикционной муфты на основе факторного анализа. Проведена количественная характеристика параметров микроструктуры, физико-механических и эксплуатационных свойств данных материалов. Анализируются зависимости между показателями микроструктуры, физико-механическими и эксплуатационными свойствами предложенных многокомпонентных составов.

**В пятой** главе приведено описание результатов натурных испытаний материалов фрикционных вставок в составе муфты стрелочного электропривода типа СП-6М, целью которых являлся выбор рационального состава,

обеспечивающего стабильное функционирование стрелочного электропривода в тяжёлых условиях эксплуатации.

**5. Замечания по диссертационной работе.** При ознакомлении с текстом диссертации и ее авторефератом возникли следующие замечания:

1. В главе 2 в качестве анализируемого параметра введена «плотность границ каждого структурного элемента». Не совсем понятно, как плотность границ можно рассчитать для каждого структурного элемента, а не их совокупности по фотографиям микроструктуры?

2. В главе 3 указано, что «потенциал пластической деформации определяется на основании результатов измерения микротвердости». Автору следовало бы дать пояснение, что в данном случае вкладывается в понятие «потенциал пластической деформации».

3. В главе 4 указано «Из анализа полученных уравнений следует, что с повышением содержания Си относительная износостойкость  $\epsilon$ , твердость НВ, пористость П и средняя плотность границ структурных элементов  $q_{\text{ср}}$  снижаются. Это означает, что понижаются диссипативные свойства материала». Не совсем понятно, как с диссипативными свойствами связана, например, износостойкость. Следовало бы более обстоятельно подойти к трактовке полученных результатов.

4. В главе 4 при обсуждении полученных результатов приведены следующие рассуждения: «Средняя плотность границ структурных элементов являлась количественным показателем, характеризующим диссипативные свойства материала, связанные с процессами внутреннего трения при пластической деформации, инициированной контактно-фрикционным взаимодействием в локальных областях, которая определяется динамикой дефектов кристаллического строения. В процессе торможения и преодоления дислокациями препятствий совершается работа внутреннего трения, которая в дальнейшем преобразуется в тепло и рассеивается. Наиболее активными барьерами торможения дислокаций являются границы и субграницы. С повышением средней плотности границ для перемещения дислокаций требовалась большая энергия, что приводило к повышению работы внутреннего

трения и более активному выделению тепла или диссипации. Таким образом, с повышением средней плотности границ диссипативная способность материалов фрикционных вставок возрастала, что соответствовало повышению его функциональных свойств». Поскольку в работе разрабатывается фрикционный материал, крайне важно анализировать не только взаимосвязь многоуровневой структуры с деформационно-прочностными свойствами, но и спецификой развития процессов изнашивания в зоне трибоконтакта, что может кардинально отличаться от развития деформационных процессов в объеме материала.

5. Использованный в работе термин «показатели структурной организации» не является общепринятым в материаловедении. В целом понятно, почему автор ввел его в работе для описания наблюдаемых изменений структуры фрикционного материала. Однако следовало бы придерживаться более распространенной (устоявшейся) терминологии.

6. При обобщении полученных в работе результатов автор указывает: «Установлено, что материалы с большей степенью развитости границ структурных элементов характеризуются большей твердостью. С увеличением средней плотности границ структурных элементов наблюдается повышение относительной износостойкости, что связано с повышением работы внутреннего трения и, как следствие, диссипативной способности фрикционного материала». Развитость границ раздела одновременно означает снижение размера зерна, что описывается законом Холла-Петча. Представляет интерес провести оценки прочности разработанных композитов с позиции и таких классических представлений.

Отмеченные выше недостатки не отражаются на сути основных защищаемых положений и выводов по работе, а также не снижают ее научной и практической значимости.

**6. Оформление диссертации.** Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям (ГОСТ Р 7.0.11-2011). Материал диссертации изложен последовательно и логично

грамотным техническим языком. **Автореферат** диссертации соответствует её содержанию.

**7. Публикации по работе.** По теме диссертационного исследования опубликовано 9 работ, из них 2 статьи в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ, 2 публикации в зарубежных изданиях, входящих в перечни наукометрических баз Web of Science/Scopus. Также получены 1 патент на изобретение, 2 патента на полезную модель.

**8. Общая характеристика работы.** Диссертационная работа Афанасьевой Анны Алексеевны по совокупности полученных и опубликованных результатов является завершённым научным исследованием, выполненным на достаточно высоком научном и методическом уровне, что подтверждается четкой формулировкой цели и задач исследования, обоснованностью используемой методологии.

Основные выводы базируются на анализе большого объёма экспериментальных работ отечественных и зарубежных исследователей, обоснованы использованием современных экспериментальных и аналитических методов исследования, логичной интерпретации данных известных постулатов материаловедения.

Поставленные в работе задачи были решены автором. Полученные результаты логичны и аргументированы. Сформулированные выводы характеризуются научной новизной.

### **9. Заключение.**

По своей актуальности, научной новизне, практической значимости, обоснованности представленных в диссертационной работе научных положений и выводов, достоверности полученных результатов, уровню опубликованных работ диссертационная работа Афанасьевой Анны Алексеевны «Разработка и исследование фрикционного материала для муфт сцепления с повышенными эксплуатационными характеристиками» соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а также п. 9-14 «Положения о присвоении ученых степеней

ВАК Минобразования РФ», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а также паспорту специальности 2.6.17, а её автор Афанасьева Анна Алексеевна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение (технические науки).

Диссертационная работа и отзыв заслушаны, обсуждены и одобрены на расширенном семинаре лаборатории механики полимерных композиционных материалов Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН) (протокол № 5 от 22.02.2023 г.).

Председатель семинара  
Заведующий лабораторией  
механики полимерных композиционных материалов  
доктор технических наук, профессор

\_\_\_\_\_ Сергей Викторович Панин  
(специальность 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела)

Секретарь семинара  
Старший научный сотрудник лаборатории  
механики полимерных композиционных материалов  
кандидат физико-математических наук

\_\_\_\_\_ Людмила Александровна Корниенко  
(специальность 01.04.07 – физика конденсированного состояния)

Я, Панин Сергей Викторович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

С.В. Панин

Я, Корниенко Людмила Александровна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Л.А. Корниенко

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН, 634055, г. Томск, просп. Академический, 2/4, телефон: +7 (3822) 49-18-81, факс: +7 (3822) 49-25-76, e-mail: root@ispms.tomsk.ru, сайт организации: <http://www.ispms.ru>)