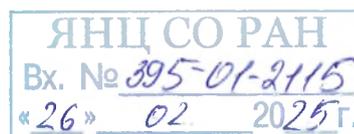


**Отзыв**  
**официального оппонента на диссертационную работу**  
**Марковой Марфы Алексеевны**  
**«Разработка композиционных материалов триботехнического**  
**назначения на основе политетрафторэтилена, модифицированного**  
**углеродным волокнистым наполнителем», представленную на соискание**  
**ученой степени кандидата технических наук по специальности**  
**2.6.17 - Материаловедение (технические науки).**

**Актуальность темы диссертации**

Развитие современной техники неразрывно связано с применением новых полимерных композиционных материалов (ПКМ), используемых для изготовления деталей узлов трения (подшипников скольжения, втулок, манжет). Создание новых ПКМ конструкционного и триботехнического назначения, совершенствование технологии их получения, включая различные виды воздействия на композиционные смеси с целью придания специфических свойств материалам, а также исследование их свойств и структуры обусловлено необходимостью создания материалов с заранее заданными свойствами, является одной из важнейших задач. Наиболее перспективными композиционными материалами, работающими в узлах трения, являются композиты на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ), обладающие сочетанием высокой тепло- и морозостойкостью, уникальными механическими, химическими, триботехническими свойствами и широко применяемыми в различных отраслях промышленности.

Основными направлениями улучшения физико-механических и трибологических свойств полимерных композиционных материалов на основе ПТФЭ являются: введение различных модификаторов в полимерную матрицу, измельчение и перемешивание компонентов, специальные методы



прессования, применение физических методов воздействия и режимов термической обработки.

Несмотря на уже разработанные технологии изготовления композитов, достичь существенного улучшения механических и антифрикционных свойств возможно лишь разработкой новых способов активации компонентов полимерных композиционных материалов.

Возрастающий спрос на композиционные изделия в различных отраслях промышленности обуславливает необходимость проведения дальнейших исследований в области разработки технологии и теоретической базы для совершенствования различных способов воздействия на полимерные композиты, позволяющих создавать материалы с необходимыми эксплуатационными свойствами, особенно в условиях севера. Одной из важнейших комплексных научных задач в рассматриваемой области является изучение механизмов формирования структуры композитов и взаимосвязи структуры с физическими свойствами материалов. Известно несколько способов активации компонентов композиционного материала непосредственно при прессовании, это виброформование, взрывное и ультразвуковое прессование. При применении данных способов наблюдается целый ряд физических и химических явлений, приводящих к интенсификации процессов изготовления, а также к улучшению трибологических свойств готовых изделий.

Использование технологических приемов совмещения компонентов, направленных на повышение адгезионного взаимодействия на границе раздела фаз и равномерности распределения наполнителя, при разработке новых эффективных способов модификации компонентов и исследования их влияния на свойства разрабатываемых материалов узла для трения является актуальным направлением, представляющим научный и практический интерес.

Также актуальность темы диссертации подтверждается связью работы с выполнением научных грантов и программ.

## Содержание диссертации и её завершённость

Диссертационная работа Марковой Марфы Алексеевны, представленная на рассмотрение состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы (210 наименований), изложена на 177 страницах.

**Во введении** обоснована актуальность работы и раскрыта сущность рассматриваемых научно-технических проблем, изложена структура работы, научная новизна и практическая ценность полученных результатов, задачи, выносимые на защиту.

**Первая глава** посвящена современному состоянию исследований по разработке полимерных композиционных материалов на основе ПТФЭ. Сделан анализ влияния различных технологических факторов и видов наполнителей на структуру и свойства композиционных материалов на основе фторопласта, проанализированы способы повышения адгезионного взаимодействия между наполнителем и полимером. Обоснованы перспективность модификации ПТФЭ углеродными волокнами и целесообразность применения механоактивации при прессовании фторопластовых композитов. Показана перспективность разработки новых композиционных материалов, содержащих ПТФЭ. Сформулированы цели и задачи исследования.

**Вторая глава** содержит описание и выбор объектов исследования, выбрана полимерная матрица (ПТФЭ) и дискретные углеродные волокна. Приведены методики экспериментальных исследований и изложены технологии получения композитов.

**Третья глава** посвящена исследованию влияния состава и способа введения УВ в ПТФЭ на прочностные свойства и структуру ПКМ. Изучены три способа введения УВ в полимерную матрицу. Смешение УВ с ПТФЭ при скорости 1500 об/мин (способ №1). Смешение 1/2 исходного ПТФЭ со смесью ПТФЭ с УВ т.е. концентрата (способ №2). Смешение части исходного ПТФЭ с предварительно механоактивированной со скоростью вращения барабана 200-400 об/мин, смесью (способ №3).

Установлено что введение наполнителя в ПТФЭ через концентрат (способ №2) обеспечивает наилучшие механические свойства и снижение изнашивания композитов до 10 раз по сравнению с традиционным способом. Усиление адгезионного взаимодействия достигается дополнительной механо-активацией (способ № 3) смеси ПТФЭ с 5 мас. % УВ при скорости 400 об/мин. Проведены исследования поверхностей трения в зависимости от содержания УВ и технологии его ведения в полимер, изучена морфология поверхностей ПКМ до и после трения.

**Четвёртая глава** посвящена исследованию влияния активации компонентов путём вальцевания порошковой смеси. Показано изменение свойств и структуры ПКМ от содержания УВ от 5 до 10% мас. Предложена комбинация технологии смешения с активацией смеси вальцеванием (способ №4), что приводит как к повышению прочности, так износостойкости композитов (по сравнению со способом №3) до 30 раз.

**Пятая глава** содержит результаты триботехнических исследований ПКМ в режиме сухого трения. Использовано математическое моделирование теплового процесса трения для определения допустимых условий эксплуатации ПКМ. Вычислены предельные рабочие значения PV-фактора ПКМ при скорости 0,2 – 0,5 м/с, при скорости 0,2 м/с предельная нагрузка в зоне трения составляет 8,3 МПа

**В заключении** приведены выводы, отражающие основные результаты работы. Выводы полно и адекватно отражают полученные в диссертационном исследовании результаты.

В приложении приведены материалы, подтверждающие практическую значимость полученных результатов (акт внедрения, патент на изобретение).

Изложение диссертации выполнено хорошим научным языком, оформление соответствует установленным требованиям.

**Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.** Основные результаты диссертационной работы опубликованы в научной печати, в том числе 8 публикаций в журналах из перечня ВАК, 3 публикации

в изданиях, индексируемых в Web of Science, SCOPUS, апробированы на научных конференциях, различных уровней.

Работа представляет завершенное научное исследование, в котором достигнута поставленная в работе цель и решены сформулированные задачи исследования.

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.**

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, обоснованы и аргументированы, их достоверность не вызывает сомнений. Это обеспечено использованием общепризнанного методологического подхода к решению научно-технических задач в рассматриваемой области, применением современных методов и средств исследований, апробацией и взаимной согласованностью результатов диссертационного исследования, полученных различными методами, а также согласованностью результатов, представленных в диссертации, с общепризнанными положениями в области материаловедения полимерных композиционных материалов. Материал в диссертации излагается логично и последовательно с необходимой степенью аргументации, что также обеспечивает обоснованность положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

**Научная значимость результатов диссертационного исследования.**

Результаты диссертационного исследования расширяют научные представления в области материаловедения полимерных композиционных материалов, вносят вклад в понимание связи структуры и состава композитов с их физико-механическими свойствами и эксплуатационными характеристиками. В том числе:

1. Установлены закономерности влияния технологических параметров совмещения компонентов на процессы структурообразования полимерного композита ПТФЭ-УВ. Показано, что использование технологического приема подготовки компонентов, заключающееся в смешении  $\frac{1}{2}$  части

исходного ПТФЭ с предварительно активированной в планетарной мельнице в течение 2 минут при скорости вращения барабанов 400 об/мин смесью ПТФЭ с УВ марки УВИС-АК-П, а также комбинация технологии поэтапного смешения компонентов с активацией порошковой смеси путем вальцевания с зазором между валками менее 1 мм, способствуют реализации структурной активности частиц УВ и формированию структуры более высокого порядка в виде плотноупакованных сферолитоподобных образований с центрами кристаллизации на поверхности частиц УВ за счет интенсификации адгезионного взаимодействия на границе раздела фаз полимер-наполнитель.

2. Установлены закономерности влияния состава и способа получения ПКМ на последовательность процессов разрушения при трении, определяющих скорость изнашивания полимерных композитов с дискретными волокнами. При содержании в ПТФЭ УВ в диапазоне 1-3 мас. %, в первую очередь, изнашивается мягкая полимерная составляющая композита, при повышении содержания УВ до 5-10 мас. % частицы наполнителя при трении выступают на поверхностях и воспринимают часть нагрузки на себя, что вызывает повышение износостойкости ПКМ в значительной степени. При этом использование разработанных технологий совмещения и активации компонентов способствует упрочнению поверхностного слоя за счет интенсификации адгезионного взаимодействия ПТФЭ-УВ, что повышает устойчивость волокна на полимерном основании и значительно замедляет процесс вовлечения полимерного связующего в процесс трения.

3. Выявлено изменение спиральной конформации макромолекул ПТФЭ с переходом от конформации  $13_6$  к более стабильной конформации  $15_7$  при повышении подаваемой на ПКМ нагрузки в процессе трения, связанное с протеканием процессов аморфизации и рекристаллизации полимерного композита, что приводит к упрочнению поверхностного слоя полимерного материала.

**Практическая и теоретическая значимость результатов диссертационного исследования заключается в следующем:**

1. Разработаны технологические приёмы (способы №1-4) получения ПКМ на основе ПТФЭ, основанные на смешении исходного полимера с предварительно активированной смесью ПТФЭ с УВ (50/50) в планетарной мельнице при 400 об/мин, а также путём вальцевания. Это позволило разработать новые ПКМ с повышением износостойкости до 2000 раз и сопротивляемости ползучести в 1,7 – 4 раза по сравнению с чистым ПТФЭ.

2. Разработана математическая модель трибопроцесса с ограничением допустимой температуры на выходе из зоны трения до 120 °С, позволившая определять нагрузочно-скоростные параметры трения разработанных материалов. Математическая модель и предложенная методика вычисления могут быть использованы для оценки температурных полей и определения нагрузочно-скоростных параметров для других ПКМ. На разработанный композит на основе ПТФЭ с содержанием УВ 5 мас %, полученный с использованием технологического приема механической активации в планетарной мельнице, получен патент РФ № 2675520. Разработанные композиты прошли опытно-промышленные испытания в системах водоснабжения и отопления АО «Водоканал» г. Якутска в качестве уплотнений и прокладок, а их применение позволяет повысить срок службы. Разработанные технологические приемы перспективны для использования при создании ПТФЭ-композитов, содержащих и другие виды волокон.

Полученные в диссертации результаты могут быть использованы при изготовлении элементов трибосопряжений, разработке новых металлофторопластовых композиционных материалов в научных центрах и на предприятиях.

Теоретическая значимость полученных в работе результатов заключается в расширении знаний о влиянии технологических приемов введения наполнителей в полимер на структуру, механические и триботехнические характеристики ПКМ на основе ПТФЭ.

## Замечания по работе

1. В работе большинство исследований выполнено на порошковой смеси 1/2 исходного полимера и 1/2 механоактивированной композиции ПТФЭ+УВ, было бы целесообразным исследовать 100% механоактивированной композиционной смеси.

2. В диссертационной работе не указана продолжительность смешения полимера и наполнителя в лопастном смесителе как для получения «концентрата», так и для получения композита. Изменяется ли указанный параметр и является он значимым для свойств полученных композитов?

3. Методом ИКС (стр. 126) выявлено, что при повышении нагрузки в процессе трения происходит изменение спиральной конформации макромолекул ПТФЭ с переходом от конформации  $13_6$  к более стабильной конформации  $15_7$  (рисунок 4.13) на поверхностях трения. Этот вывод основан на регистрации изменения соотношения интенсивностей дублета в области  $\sim 640$  и  $625 \text{ см}^{-1}$ . Однако, судя по спектру на рис.4.13, изменения в соотношении интенсивностей дуплета очень малы! Какова ошибка определения интенсивностей дуплета в области  $\sim 640$  и  $625 \text{ см}^{-1}$ ?

4. На рис. 2.2. (стр. 54) приведены микроструктуры углеродного волокна, но не описаны морфологические особенности его поверхности. На какие свойства композита они могут влиять?

5. Автором на стр. 64 приведена формула (2.11) расчёта номинального модуля ползучести, но в тексте диссертации она нигде не упоминается. На самом деле в результате эксперимента рассчитывался какой модуль ползучести?

6. В главе 3 представлены результаты исследований влияния способов введения УВ в полимерную матрицу на физико-механические и триботехнические характеристики ПКМ. По результатам исследования автор резюмирует, что деформационно-прочностные характеристики ПКМ, полученных по способу №1 (стандартная технология), значительно ниже аналогичных характеристик исходного полимера и композитов, полученных

с использованием концентрата (способ №2), это, вероятно, связано с неравномерным распределением волокон в матрице и с образованием агломератов из частиц УВ. Не ясно, почему УВ не образуют агломераты в композите, полученном по способу 1, а в исходном полимере УВ совсем отсутствует. Следовало бы привести результаты структурных исследований материалов и продемонстрировать неравномерное распределение волокон в матрице.

7. В работе нет сравнительных данных свойств разработанных композитов, полученных совместной механоактивацией компонентов (ПТФЭ-УВ) со свойствами ПКМ, модифицированного только механоактивированным УВ, а также нет сравнительных данных эксплуатационных свойств разработанных материалов с ПТФЭ-композитами других исследователей.

8. Какова работоспособность разработанных ПТФЭ-композитов при минусовых температурах, так как изучение атмосферостойкости полимерных материалов в зоне холодного климата приобретают важное значение в связи с освоением северо-восточных регионов страны.?

9. При способе активации компонентов путем вальцевания порошковой смеси на свойства и структуру ПКМ, при этом в описании технологии указано, что активацию порошковой смеси выбран зазор между валками менее 1 мм. Почему для активации выбрано такое расстояние между валками лабораторных вальцев?

10. В заключении в качестве 4 п. утверждение, что при содержании УВ в диапазоне 1-3 мас.% в первую очередь изнашивается мягкая полимерная составляющая ПКМ, а при содержании УВ в диапазоне 5-10 мас.% жесткие частицы наполнителя, выступая на поверхностях трения, и воспринимают часть нагрузки на себя, что приводит к значительному повышению износостойкости ПКМ. Считаю не совсем корректным, т.к. в случае повышения содержания УВ в полимере до 5-10 мас.% тоже сначала изнашивается полимер в процессе приработки.

11. В заключении написано, что использование разработанных способов совмещения и активации компонентов способствует упрочнению поверхностного слоя за счёт интенсификации адгезионного взаимодействия ПТФЭ-УВ. Каким образом выявлено повышение адгезионного взаимодействия на границе раздела фаз ПТФЭ-УВ?

**Диссертация Марковой Марфы Алексеевны является завершённой научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задач по созданию фторопластовых композиционных материалов с повышенной прочностью и износостойкостью, исследованию их физических свойств в зависимости от состава композиций и структуры композитов.**

Результаты, полученные диссертантом, имеют большое значение для науки и практики, они должным образом обоснованы, апробированы и опубликованы.

Указанные замечания не меняют общего положительного впечатления от диссертации.

**Содержание диссертационной работы Марковой Марфы Алексеевны «Разработка композиционных материалов триботехнического назначения на основе политетрафторэтилена, модифицированного углеродным волокнистым наполнителем», объекты исследования, используемые методы и методики, научная новизна и практическая значимость полученных результатов соответствуют паспорту научной специальности 2.6.17 – Материаловедение (технические науки), по пунктам:**

Пункт 1 областей исследования. Разработка новых металлических, неметаллических и композиционных материалов, в том числе капиллярно-пористых, с заданным комплексом свойств путём установления фундаментальных закономерностей в влиянии дисперсности, состава, структуры, технологии, а также эксплуатационных и иных факторов на функциональные свойства материалов. Теоретические и экспериментальные

исследования фундаментальных связей состава и структуры материалов с комплексом физико-механических и эксплуатационных свойств с целью обеспечения надёжности и долговечности материалов и изделий.

Пункт 2 областей исследования. Установление закономерностей физико-химических и физико-механических процессов, происходящих на границах раздела в гетерогенных структурах.

Диссертационная работа Марковой М.А. полностью соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждение ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение (технические науки).

Официальный оппонент:

профессор, доктор технических наук,  
05.16.09 Материаловедение (машиностроение)

Адаменко Нина Александровна

профессор кафедры «Материаловедение и композиционные материалы»  
ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет».

400005, г. Волгоград, проспект им. В.И. Ленина, д. 28.

Тел. 8-905-397-74-42

E-mail: mvpol@vstu.ru

17.02.2025 г.

 Адаменко Нина Александровна

Подпись Адаменко Нины Александровны заверяю



Я, Адаменко Нина Александровна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Марковой Марфы Алексеевны, и их дальнейшую обработку.

17.02.2025 г.

 Адаменко Нина Александровна