

## 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 диссертационной работы Марковой Марфы Алексеевны обусловлена потребностью в разработке материалов, способных эксплуатироваться в широком диапазоне температур, в том числе в экстремальных климатических условиях северных регионов РФ. Вследствие сочетания высокой морозостойкости и теплостойкости, а также других уникальных свойств, композиты на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) остаются до сих пор одними из наиболее востребованных триботехнических материалов в производстве транспорта, оборудования и механизмов, эксплуатируемых в экстремальных условиях. В то же время ПТФЭ имеет существенные недостатки, которые можно нивелировать путем введения, например, углеродных волокон в качестве наполнителей. Однако модифицирование полимерной матрицы представляется нетривиальной задачей. Поэтому разработка новых эффективных способов введения наполнителей с получением композитных материалов с улучшенными механическими и триботехническими свойствами является актуальным направлением, представляющим научный и практический интерес.

**Целью** диссертационной работы является разработка ПТФЭ-композитов с улучшенным комплексом физико-механических и эксплуатационных свойств на основе исследования влияния модифицирования углеродным волокнистым наполнителем марки УВИС-АК-П с применением различных приемов механоактивации компонентов на процессы их структурообразования, изменение деформационно-прочностных и триботехнических показателей, механизмы изнашивания при трении скольжения.

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

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.

#### **Теоретическая и практическая значимость.**

Разработаны технологические приемы, позволяющие получать новые композиты на основе ПТФЭ с повышенными до 2000 раз износостойкостью и в 1,7-4 раза сопротивляемостью деформациям ползучести по сравнению с аналогичными показателями для исходного полимера. Предложена математическая модель трибопроцесса с ограничением допустимой температуры на выходе из скользящего контакта ПКМ-стальное контртело до 120 °С, позволившая определять нагрузочно-скоростные параметры трения разработанных материалов. Данная модель может быть применима для оценки температурных полей и определения нагрузочно-скоростных параметров для композитных материалов на основе других полимеров. Разработанные композиты прошли опытно-промышленные испытания в системах водоснабжения и отопления АО «Водоканал» г. Якутска в качестве уплотнений и прокладок. Получены 1 Патент РФ и 1 Акт внедрения.

**Обоснованность и достоверность** полученных в работе экспериментальных результатов, выводов и рекомендаций обеспечена корректностью постановки задачи, использованием аттестованного оборудования, поверенных средств измерений и апробированных методик экспериментальных исследований, а также согласованностью полученных результатов, смежным опубликованным экспериментальным данным и результатам других авторов.

**Структура и содержание работы.** Диссертационная работа изложена в классическом стиле на 177 страницах, содержит 60 рисунков, 10 таблиц и состоит из введения, обзора литературы, экспериментальной части, обсуждения

результатов, выводов, списка литературы, включающего 210 наименований, и 2 приложений.

Во **введении** к диссертационной работе Марковой Марфы Алексеевны сформулирована актуальность темы исследования, его научная новизна, практическая и теоретическая значимость, методология и методы исследования, поставлена цель и определены задачи работы. В данном разделе также изложены положения, выносимые на защиту, личный вклад автора, достоверности результатов исследований, а также апробации работы и публикациях.

**Первая глава** (литературный обзор) состоит из нескольких частей. Сначала автором приведен анализ рынка фторполимерных материалов, а также рассмотрены исследования по разработке композиционных материалов на основе ПТФЭ в ведущих российских и зарубежных центрах. Далее Марфа Алексеевна подробно описывает способы модифицирования полимерных композитов углеродными наполнителями с использованием различных технологических приемов механоактивации. На основании проведенного анализа работ сформулирована цель и задачи исследования.

**Вторая глава** является экспериментальной частью. В ней предложены гипотеза и структура исследования, приведены свойства, составы и основные параметры объектов исследования. Дано описание методов исследования, приборов и другого оборудования, использованного в экспериментальной части работы. Приведена математическая модель для определения допустимых нагрузочно-скоростных режимов трения ПКМ.

В **третьей главе** представлены результаты по разработке способов введения углеродного модификатора в полимерную матрицу. Подробно исследованы структурные характеристики, и деформационно-прочностные и триботехнические свойства получаемых композитов. Установлено, что введение в ПТФЭ наполнителя до 5 мас.% с использованием технологического приема механоактивации предварительно подготовленного концентрата при скорости вращения барабанов 400 об/мин, приводит к повышению деформационно-прочностных показателей и износостойкости. Установлены закономерности влияния состава и технологии получения ПКМ на последовательность процессов разрушения ПКМ при трении, определяющих скорость изнашивания полимерных композитов с дискретными волокнами.

В **четвертой главе** приведены результаты исследования по влиянию способа активации компонентов путем вальцевания порошковой смеси на физико-механические и триботехнические показатели ПКМ. Установлено, что технология активации в виде вальцевания компонентов позволяет повысить прочность при сжатии и износостойкость ПТФЭ, модифицированного углеродными волокнами УВИС-АК-П. Этот эффект достигается за счет интенсификации адгезионного взаимодействия на границе раздела фаз полимер-наполнитель.

**Пятая глава** посвящена триботехническим исследованиям ПКМ при изменении нагрузочно-скоростных параметров в режиме сухого трения, а также предложена математическая модель для описания теплового процесса при трении.

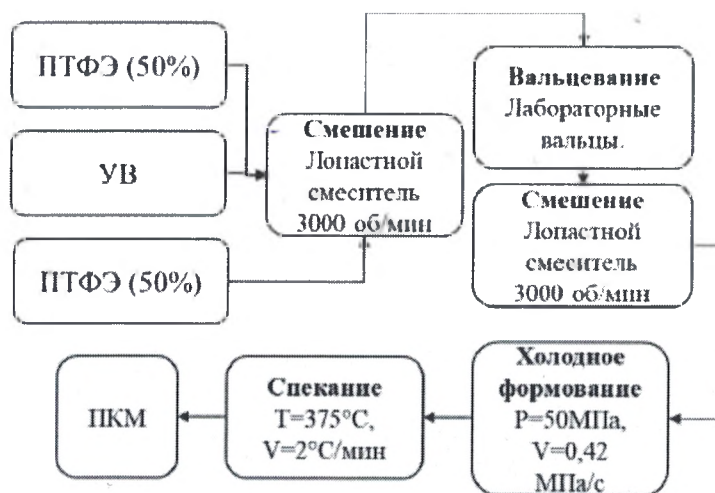
**В заключении** приведены выводы по результатам диссертационного исследования.

При ознакомлении с диссертацией появились следующие вопросы и замечание:

1. В экспериментальной части отсутствует описание методики механохимической активации. Из текста диссертации не понятен выбор продолжительности времени активации углеродного наполнителя, которое составляет 2 минуты.

2. На рисунке 3.21 (стр. 102) приведено два механизма протекания химических реакций в зоне контакта трения ПТФЭ – стальное контртело. На второй схеме приведен фрагмент, в которой фтор имеет валентность 2. У фтора не может быть такой валентности. Эта схема взята из источника [195]? Или это ваша опечатка?

3. На рисунке 4.1 (стр. 108) Марфа Алексеевна приводит схему способа получения ПКМ №4, которая основана на комбинации технологии поэтапного смешения компонентов с активацией порошковой смеси путем вальцевания с зазором между валками менее 1 мм. Автор пишет, что композиция в виде порошка силами трения о поверхность валков, вращающихся навстречу один другому, увлекается в зазор между ними и спрессовывается в пластину, затем она подвергается размолу и далее получают образцы для испытаний согласно представленной схеме (рисунок 4.1). Однако на рисунке стадия измельчения не отмечена.



Вопрос к этому способу получения полимерного композита: Зазор между валками менее 1 мм установлено экспериментально? Есть данные, когда зазор составляет, например, 1,5 мм. В этом случае как изменятся физико-механические характеристики ПКМ?

4. На рисунке 4.7 (стр. 116) автор приводит данные по зависимости модуля ползучести ПКМ от напряжения и содержания УВ в композитах, полученных

способом №4. Какая точность измерения? Существенна ли разница между 0,29 и 0,3 МПа?

5. Выражение для коэффициента трения (уравнение 5.5) не содержит слагаемого. Из текста диссертации не ясно с чем связано его отсутствие? Тогда значение коэффициента трения будет отличаться от посчитанного.

6. Какие выводы из полученных расчетов (рис. 5.1-5.4) следуют относительно коэффициента трения? В тексте отсутствует рассуждение по этой части.

7. На странице 139 автор утверждает «Таковыми расчетами можно определить предельные допустимые значение температур для любого полимерного композиционного материала.» Разве это не определяется температурой плавления полимерной матрицы?

8. В диссертации присутствуют технические неточности: опечатки, неудачные формулировки, качество представления иллюстраций (плохо различимая цветовая гамма), нет единообразия в оформлении списка источников литературы, приведен неполный список сокращений.

Стоит отметить, что указанные замечания не снижают значимости полученных результатов и не умаляют достоинств диссертации.

В целом диссертационная работа Марковой Марфы Алексеевны производит благоприятное впечатление. Диссертация хорошо написана и структурирована, выводы по работе соответствуют поставленным целям. Автореферат диссертации верно отражает основные положения и выводы. Полученные результаты прошли апробацию в 11 статьях, 1 патенте РФ и 13 тезисах конференций.

Таким образом, диссертационная работа Марковой Марфы Алексеевны является завершённым научным исследованием, которое по своей актуальности, научной новизне, объёму и практической значимости результатов соответствует критериям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (со всеми изменениями и дополнениями), а ее автор, безусловно, заслуживает присуждения искомой ученой степени «кандидат технических наук» по специальности 2.6.17. Материаловедение (технические науки).

Официальный оппонент Бауман Юрий Иванович

Старший научный сотрудник Отдела материаловедения и функциональных материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Институт катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук»

Кандидат химических наук по специальности 02.00.15 «Кинетика и катализ»

930090, Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева д. 5, тел.: (383) 330-80-56, e-mail:

[bic@catalysis.ru](mailto:bic@catalysis.ru)

Старший научный сотрудник ИК СО РАН,  
кандидат химических наук

Бауман Юрий Иванович  
04 февраля 2025 г

Я, Бауман Юрий Иванович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Марковой Марфы Алексеевны и их дальнейшую обработку.

Бауман Ю. И.  
04 февраля 2025 г

Подпись кандидата химических наук Баумана Юрия Ивановича заверяю:  
Ученый секретарь ФГБУН

«Федеральный исследовательский центр «Институт катализа им. Г.К. Борескова  
СО РАН», кандидат химических наук

 /Ю.В. Дубинин/



04 февраля 2025 г