

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Шайдуровой Галины Ивановны

на диссертационную работу Солоховой Киры Сергеевны на тему:

«Углекомпози́ты на основе силико́санового эласто́мера и фенолформальдегидной смолы с высокой термической окислительной стойкостью», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение

Диссертация автора посвящена современным научным подходам в области совершенствования полимерных матриц в углекомпози́тах с использованием силико́санового каучука и фенолформальдегидной смолы (базовый вариант) с последующим модифицированием рецептур целевыми наполнителями для достижения задаваемых эксплуатационных характеристик.

Повышение теплозащитных свойств полимерных композиционных материалов, а именно термической и окислительной стойкости, является весьма важной задачей для материалов, работающих в условиях сверхвысоких температур.

Автором диссертационной работы данная научно-прикладная проблема решена путем модификации полимерной матрицы на основе силико́санового каучука и присутствующей фенолформальдегидной смолы и вариантами наполнителей. Действительно, введение дисперсных добавок, таких как дисперсные полые микросферы, смола в виде порошка и частицы тугоплавких металлов представляет собой новое с синергетической точки зрения направление, базируясь на научные результаты полученных знаний в области создания керамоматричных структур, угольных прессмасс (типа ЭПАН-26) и углепластиков.

В связи с чем получение полимерных композиционных материалов с высокой термической и окислительной стойкостью на основе синтетического силико́санового эласто́мера и фенолформальдегидной смолы, включая изучение влияния керамических добавок на физико-механические и теплофизические свойства углепластиков, является **несомненно актуальным**.

Общая характеристика работы

В работе представлены аналитические исследования в области полимерных композиционных материалов (ПКМ) с достигнутым уровнем термической и окислительной стойкости. Проанализирована информация по защите космической техники термоизолирующими покрытиями абляционного класса. Изучен обзор состояния и перспектив развития производства изделий из ПКМ, особенности достигнутого уровня

технических и эксплуатационных свойств которых, позволяет объективно считать композиционные материалы мировым трендом современности. Большую группу материалов представляют эластомеры на основе этилен-пропилен-диеновых каучуков, обладающих высокой совместимостью с различными наполнителями органического и неорганического типа. Автором диссертации обращено особое внимание на строение и свойства полисилоксанов. Макромолекулярная цепь кремнийорганических или силоксановых каучуков (СК) представляет собой спираль с низкими силами Ван-дер-Ваальса (межмолекулярного взаимодействия), а сложная молекулярная структура образует единую пространственную сеть, что может обеспечить в ПКМ гибкость молекулярных звеньев, эластичность и стабильность размеров. Информация об энергии связи Si-C 420-490 кДж/моль свидетельствует о высокой термостойкости и химической стабильности. Широкое применение силоксановых полимеров в качестве высокотемпературных материалов привело автора к целесообразности глубокого изучения процессов получения углеродсодержащих композитов с высокой термической и окислительной стойкостью.

Автором представлено техническое обоснование выбора исходных компонентов и материалов. Проанализированы информационные данные, выбраны методы и методики испытаний, а также технологии получения типов образцов для проведения целевых исследований. Широко представлены инструментальные методы исследований с описанием их особенностей. Для оценивания эрозионной стойкости выбран метод плазмотронных испытаний при температуре 2700-2800 °С. Воздействие лучистого потока на композиты предусмотрено автором на ламповой установке «Форсаж» при тепловом потоке 330 кВт/м² при максимальной температуре 1350 °С.

Приведен выбор основных компонентов полимерной матрицы, включая соотношение полимерных составляющих, выбор типа наполнителей по результатам комплексных испытаний от потери массы при нагреве (ТГА) до морфологической структуры. Исследована поверхность до и после в пламени горелки. При выборе наполнителей учтены теплофизические свойства и результаты ТГА. Выбор инертных наполнителей привёл автора к рецептуре, содержащей СК+ФФС (при соотношении 2:1) с комбинацией инертных наполнителей состава (суммарно 15 %) ZrB₂-5% + SiC -5% + КМС - 5%.

Корундовые микросферы выбраны для снижения теплопроводности, а борид циркония и карбид кремния- это тугоплавкие коксообразующие и керамо-образующие частицы. Достижение максимальной прочности

углекомпозита по результатам испытаний получено при армировании углеродной ткани $0^\circ/90^\circ$.

Исследованы микроструктура полимерных матриц и композитов, физико-механические и теплофизические свойства. Проведены экспериментальные исследования воздействия тепловых потоков на свойства углекомпозитов. Определена энергия активации по экспериментальным данным исследования кинетики ТГА при различных скоростях нагрева. Показаны представительные образцы с визуализацией переходных процессов до, во время и после воздействия теплового потока, которые наглядно демонстрируют результаты о достижении автором поставленных целей квалификационного исследования.

Научная новизна

1) Автором впервые разработаны варианты рецептур полимерных матриц на основе силоксанового каучука, совмещённого с феноформальдегидной смолой в порошкообразном (дисперсном) состоянии.

2) Изучены закономерности физико-химических процессов, происходящих в углепластиках новых рецептур при воздействии высоких температур, что позволяет рассматривать их в качестве конструкционных материалов в новых проектных разработках.

3) По результатам экспериментальных работ установлено влияние коксообразования на термическую и окислительную стойкость.

4) Получены новые результаты в сторону повышения энергии активации термоокислительной деструкции и кислородного индекса, а также огнестойкости.

5) Установлены основные закономерности, обеспечивающие регулирование свойств, базируясь на результатах комплексных исследований комбинированных полимерных матриц для углекомпозитов.

Научные положения, выносимые на защиту, в полной мере соответствуют выполнению научно-прикладных задач и научной новизне полученных результатов исследований.

Практическая значимость

На основе теоретических и экспериментальных исследований автором работы предложены методические подходы к созданию новых уникальных рецептур для получения углекомпозитов с задаваемым уровнем эксплуатационных свойств.

Практическая значимость заключается в разработке технологии получения углекомпозитов на основе силоксанового эластомера с комбинацией наполнителей различной природы с целенаправленным предназначением для производства образцов техники нового поколения.

Рекомендации, положения и выводы диссертационной работы практически использованы при изготовлении партии изделий в АО «НИИГрафит».

Практическая значимость результатов исследований подтверждена актами АО «НИИГрафит».

Достоверность полученных результатов

Научные и экспериментальные результаты, изложенные в диссертации, получены с применением современных методов теоретических и экспериментальных исследований, сходимостью результатов, не противоречащих закономерностям физико-химии полимеров и их свойств, в том числе, и при экстремальных условиях эксплуатации. Автором представлен значительный объём экспериментальных данных сопоставлением полученных результатов другими авторами по базовым объектам исследований. Воспроизводимость результатов обеспечена использованием современных методик и лабораторного оборудования с интеллектуальными системами управления.

Замечания:

1) С точки зрения формулировки темы квалификационного исследования, судя по содержанию, преобладающей проблемой рассматривается создание модификаций рецептур полимерных матриц для углекомполитов, (а не наоборот, как это звучит по тексту).

2) В связи с особенностями межмолекулярных связей (силы Ван-дер-Ваальса) силоксанового эластомера большое значение имеет межфазное взаимодействие, поэтому было бы полезно визуализировать физическое состояние ячеек «полимер - наполнитель».

3) Следует отметить, что силиконовые эластомеры относятся к трудно-склеиваемым материалам. В диссертации автором не уделено внимания адгезии к субстратам и долговременной прочности адгезионных соединений, например, в случае применения разработанных рецептур огнезащитных покрытий.

Сделанные замечания не снижают общей высокой оценки диссертации.

Заключение:

В целом, представленная диссертация Солоховой Киры Сергеевны выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены научно обоснованные технические и технологические решения с оригинальными подходами к разработке рецептур полимерных композиционных материалов на основе силоксанового каучука с наполнителями активного и инертного типа, но с функциональным назначением каждого компонента для работы в

экстремальных условиях, что создаёт предпосылки для синергизма в новом развитии материаловедения полимерно-композиционных материалов.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 10 научно-технических конференциях и семинарах, опубликованы в 13 печатных работах, в том числе, 3 статьи в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК, получен 1 патент. Результаты диссертационной работы могут быть использованы в области производства образцов авиационной и космической техники нового поколения.

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней..», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор Солохова Кира Сергеевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение.

Официальный оппонент:

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры МКМК ФГАОУ ВО
«Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»,
Заслуженный технолог РФ, академик РАКЦ


«18» ноября 2024 г.

Шайдурова Галина Ивановна
Shaydurova Galina@npoiskra.ru
+7(342) 262-70-76

Подпись д.т.н. Шайдуровой Галины Ивановны удостоверяю.

Учёный секретарь ПНИПУ

Кандидат исторических наук



Макаревич Владимир Иванович

614990, Пермский край, г. Пермь, Комсомольский пр-кт, д.29
ФГАОУ ВО «ПНИПУ»

<https://pstu.ru>

+7 (342) 2-198-520