

ОТЗЫВ

официального оппонента Славина Андрея Вячеславовича
на диссертационную работу Сагитовой Фариды Равиленовны на тему: «Научно-технологические основы создания и регулирования характеристик нового поколения полимерных композиционных материалов, армированных модифицированными потоком низкоэнергетических ионов волокнистыми наполнителями органической и неорганической природы», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение

1. Актуальность темы исследования

В ходе технологического развития традиционные конструкционные материалы, прежде всего металлы, постепенно уступают место волокнистым композитам. Основу таких материалов формируют волокна, нити, технический текстиль и специализированные ткани. Отличительной чертой этих компонентов выступает высокая удельная прочность. Именно данное свойство позволяет снижать массу изделий и конструкций без ущерба для их прочностных показателей.

Указанная характеристика обуславливает активное применение технических тканей при создании волокнистых полимерных композиционных материалов (ПКМ). Сфера их внедрения охватывает широкий круг отраслей: автомобилестроение, медицинское приборостроение и выпуск изделий медицинского назначения, производство спецодежды с повышенными требованиями к износостойкости, изготовление спортивного инвентаря, рыболовство, в том числе плетение канатов и парусов, судостроительная отрасль, выпуск средств индивидуальной защиты.

В сегменте органических волокнистых материалов лидирующие позиции занимают полиэфирные волокна полиамидные волокна полиолефиновые волокна углеродные волокна. Значимый сегмент рынка приходится на неорганические волокна. Абсолютное доминирование порядка 90 % рынка демонстрирует аморфная двуокись кремния в волокнистой форме (АДКВ). Её тканевый аналог аморфная двуокись кремния в виде тканей (АДКТ) также отличается выдающимися показателями жёсткости и прочности, что придаёт композитам исключительные эксплуатационные параметры.

Ключевым ограничивающим фактором при эксплуатации ПКМ остаётся недостаточный уровень адгезионной прочности (АП) на границе полимерная матрица – армирующий наполнитель. Дефицит адгезии провоцирует ряд негативных эффектов: расслоение материала, формирование трещин, деградацию эксплуатационных характеристик изделия. При этом совокупные физико-механические свойства композита определяются не только индивидуальными

параметрами матрицы и наполнителя, но и качеством межфазного взаимодействия между ними.

Для повышения адгезии требуется решение двух взаимосвязанных задач: увеличение глубины пропитки полимерной матрицей, оптимизация объёмного содержания армирующего наполнителя. В современной производственной практике применяются разнообразные способы модификации поверхности армирующих волокон и тканей.

Большинство волокнистых материалов обладает гидрофобной поверхностью, что создаёт существенные затруднения при их смачивании и пропитке матрицами различного типа в процессе изготовления композиционных материалов (КМ). Для преодоления данного ограничения необходима специальная обработка поверхности армирующих элементов, направленная на повышение их капиллярных свойств и смачиваемости.

Традиционные химические и физические способы обработки поверхности нередко сопряжены с двумя существенными недостатками, такими как усложнение технологической цепочки производства и возникновение экологических рисков. Кроме того, возникает принципиальная дилемма: целенаправленное улучшение одних характеристик материала может приводить к нежелательной деградации других свойств, не требующих коррекции.

В данном контексте особый интерес представляют экологически безопасные методы, основанные на применении низкотемпературной плазмы газовых разрядов. Плазменная обработка даёт возможность целенаправленно изменять морфологию поверхности волокон, повышать показатели смачиваемости и капиллярности, усиливать адгезионное взаимодействие с полимерными матрицами.

Актуальной научно-технической проблемой выступает разработка новых ПКМ с армирующими компонентами, модифицированными посредством потока низкоэнергетических ионов. Низкоэнергетический ионный поток генерируется в плазме ВЧЕ-разряда пониженного давления с продувом газа, что открывает перспективы для создания композитов с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

2. Научная новизна диссертационной работы

Впервые созданы научно-технологические основы получения ПКМ с улучшенными физическими и механическими характеристиками и оптимальным соотношением матрица - армирующий наполнитель из органических и неорганических волокнистых материалов. (волокна сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), углеродные волокна (УВ), АДКВ, АДКТ за счет

обработки их потоком низкоэнергетических ионов, генерируемых из плазмы ВЧ-разрядов пониженного давления с продувом газа.

Установлен единый механизм обработки волокнистых материалов независимо от их физической и химической природы.

Реализован процесс оптимизации содержания массы матрицы и армирующего наполнителя при создании ПКМ с оптимальной удельной плотностью.

Установлено, что для модификации волокнистых материалов неорганической и органической природы применяются одни и те же плазмообразующие газы – аргон, воздух, а прочность соединения существенно возрастает при этом повышается температура начала термодеструкции.

Установлено, что модификация с помощью потока низкоэнергетических ионов, генерируемых из плазмы ВЧ-разрядов пониженного давления с продувом газа повышает смачиваемость синтетических и неорганических волокнистых материалов и увеличения удельной площади поверхности, показатели межслоевой сдвиговой прочности и предела прочности на изгиб. При этом разрушение ПКМ происходит как единого материала и носит когезионный характер.

Установлено, что повторная обработка готовых элементов армирующих волокнистых материалов непосредственно перед процессом пропитки материалом матрицы позволяет повысить прочность КМ.

Разработаны экологичные высокоэффективные методы и технологические схемы получения облегченных высокопрочных с улучшенными физическими и механическими характеристиками ПКМ

3. Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы

Теоретическая и практическая значимость работы не вызывает сомнения, и заключается в создании научно-технологических основ создания нового поколения с регулируемыми характеристиками полимерными композиционными материалами на основе органических и неорганических волоконб модифицированных потоком низкоэнергетических ионов, генерируемых в плазме ВЧ-разряда с продувом газа.

1. Установлены параметры воздействия потока низкоэнергетических ионов, при которых происходит наиболее существенное изменение физических, механических характеристик волокнистых материалов:

1.1 Для синтетических волокнистых материалов (СВМПЭ-волокон и тканей, углеродных волокон и тканей) $W_i = 77,5$ эВ, ($W_p = 1,8$ кВт), $j_i = 0,83$ А/м²; для СВМПЭ материалов $P = 26,6$ Па, $t = 3$ мин, $G_{ар} = 0,04$ г/с для углеродных материалов $P = 50$ Па, $G_{воздух} = 0,04$ г/с, $t = 20$ мин;

1.2 Для неорганических волокнистых материалов (АДКВ и АДКТ):

1.2.1 АДКВ: $W_i = 80$ эВ, $j_i = 0,835$ А/м², $W_p = 2,15$ кВт, $t = 2,5$ мин, $P = 26,6$ Па, $G_{Ar} = 0,04$ г/с.

1.2.2 АДКТ: $W_i = 75$ эВ, $j_i = 0,83$ А/м², $W_p = 1,45$ кВт, $t = 6$ мин, $P = 26,6$ Па, $G_{Ar+воздух} = 0,04$ г/с (Ar – 70%, воздух – 30%).

2. Установленные параметры воздействия потока низкоэнергетических ионов позволили увеличить характеристики армирующих наполнителей: развитость поверхности (увеличение до 4,4% СВМПЭ-волокон) при неизменном объеме позволяет увеличить удельную площадь поверхности; для УВ - Кулон-500/007 до 19,5%, для Т300 до 124,0%, а для АДКВ – на 16,5%, для АДКТ рельефный профиль увеличивается на 7%. При этом смачиваемость для УВ возрастает на 70%, угол смачивания - до 40%, смачиваемость для СВМПЭ-волокон, повышается до 86%, угол смачивания после воздействия ПНЭИ не удается измерить, так как капля воды мгновенно поглощается тканью, что связано с возникновением существенной гидрофильности, для АДКТ – на 70%. Разрывная нагрузка для УВ возрастает до 20%, для СВМПЭ-волокон практически не меняется, однако существенно повышается область упругой деформации с повышением термостойкости, для АДКВ и АДКТ – в 2 раза и на 27% соответственно.

3. Разработаны композиционные материалы с модифицированными ПНЭИ армирующими наполнителями, имеющие оптимальное содержание матрицы и за счет максимального межфазового взаимодействия имеющие уникальные регулируемые физические и механические характеристики:

3.1 с армирующими из УВ и СВМПЭ имеют повышенный предел прочности на изгиб и межслоевую сдвиговую прочность; до двух раз выше исходных для СВМПЭ материалов и до 30% углеродных; при этом ударная прочность КМ с СВМПЭ-тканью достигает 90 Дж. Предел прочности при растяжении для СВМПЭ материалов в 1,3 раза, для углеродных материалов на 15% выше исходных, а модуль упругости возрастает до 20% для СВМПЭ армирующих, а модуль упругости при сжатии для углеродных материалов возрастает до 16% по сравнению с исходным;

3.2 ПКМ с полиамидной матрицей и армирующим из аморфной двуокиси кремния в виде волокон имеет предел прочности на разрыв до 25% и ударную вязкость на 75% выше после воздействия ПНЭИ на армирующее по сравнению с исходным; ПКМ армированный аморфной двуокисью кремния в виде ткани имеет предел прочности на разрыв на 40% выше исходного.

4. Значительное повышение механических характеристик ПКМ, в которых армирующее имеет замасливатель, при его удалении при использовании ПНЭИ играет существенную роль обработка торцевых окончаний, что в традиционной технологии невозможно. Эти необработанные торцевые окончания в традиционной технологии и служат первопричиной разрушения ПКМ.

5. Разработаны технологические рекомендации для создания композиционных материалов с синтетическими и неорганическими армирующими наполнителями, имеющими оптимальное соотношением матрицы и армирующего наполнителя и повышенные регулируемые физические и механические характеристики, позволяющие значительно повысить их эксплуатационные характеристики.

Достижением и заслугой автора в области практической значимости является внедрение результатов диссертационной работы в ООО «ПТО «Медтехника»» г. Казань и ООО «Ирис-НН» г. Нижний Новгород с суммарным экономическим эффектом 8,49 млн. руб. в год.

4. Степень обоснованности и достоверности научных положений, результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Обоснованность и достоверность научных положений, результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации Сагитовой Ф.Р. подтверждается использованием стандартных и апробированных методик испытаний согласно ГОСТу, так и специализированных методов исследований свойств композиционных материалов, сравнением результатов с другими авторами и данными расчётов по математической модели, то есть в работе проведена верификация и валидация полученных результатов. Проведён полный комплекс работ по исследованию физических, механических характеристик, состава и структуры. Достоверность экспериментальных данных подтвердили с помощью методов математической статистики обработки с доверительной вероятностью 0,97. Для многофакторного анализа использован пакет программ «Statistica 10».

Личный вклад автора в работе решающий, а именно результаты экспериментов, изложенные в диссертации, получены самим автором, при его непосредственном участии и под его руководством. Сагитова Ф.Р. обосновала и сформулировала цель и задачи диссертации, выбрала подходы к решению, анализу результатов, самостоятельно обобщила эти результаты.

5. Оценка содержания работы, степень её завершённости и качество оформления

Диссертационная работа включает в себя: введение, 6 глав, заключение, список литературы из 405 наименований, 82 таблицы, 123 рисунка, одно приложение и представлена на 307 страницах машинописного текста.

Во введении сформулированы цель, задачи исследования, обосновывается актуальность исследования для материаловедения, а также приведены научная новизна и защищаемые положения.

В первой главе проанализировано состояние мирового рынка ПКМ, приведён подробный анализ современных направлений в получении ПКМ, армированных органическими и неорганическими волокнистыми материалами. По результатам литературного обзора сформулированы цель и задачи диссертации.

Во второй главе описаны объекты исследования, их состав и характеристики, применявшееся плазменное оборудование, изложено описание экспериментальных приборов для исследования, описаны методики и объекты исследования.

В третьей главе посвящена комплексному исследованию модификации потоком низкоэнергетических ионов в ВЧЕ-разряде пониженного давления армирующих наполнителей органической природы. Изучены физические, механические характеристики, состав и структура волокон из СВМПЭ и углеродных материалов и композиционных материалов на их основе. Разработана методика по определению связи между режимами воздействия ПНЭИ и минимизацией массы КМ за счёт оптимизации соотношения армирующий наполнитель – полимерная матрица при сохранении механических характеристик.

Разработана методология определения оптимального соотношения полимерная матрица – армирующий наполнитель в КМ с применением ТМА, позволяющая установить зависимость прочностных характеристик КМ с армирующим из синтетических волокон от термического и механического воздействия, что и дало возможность найти связь между режимами воздействия ПНЭИ и минимизацией массы КМ за счет оптимизации соотношения полимерная матрица – армирующий наполнитель при сохранении механических характеристик.

В четвертой главе представлены данные по взаимодействию ПНЭИ, сформированного в двух видах струйных разрядов пониженного давления – индукционного и емкостного и влияние ПНЭИ на физические, механические параметры, структуру и состав АДКВ, АДКТ и композиционные материалы из них и полимерной матрицы. Установлено, что наилучшие результаты по модификации АДКВ достигаются в индукционной плазме, а по АДКТ – в плазме емкостного разряда. Исследованы физические и механические характеристики композиционного материала с полиамидной матрицей из АДКВ в качестве армирующего материала.

Показано, что ПКМ с полиамидной матрицей (40% - ПСМ) и армирующим АДКВ после воздействия ПНЭИ имеет предел прочности на разрыв σ_r , - 25%, ударная вязкость на 75 % чем исходная, остальные параметры ПКМ не ухудшились.

В увеличении предел прочности на разрыв σ_r , как ПКМ армированным АДКВ, так и ПКМ армированный АДКТ значительную роль играет модификация

ПНЭИ торцевых окончаний стекловолоконистых материалов, которые без воздействия ПНЭИ являются концентраторами напряжений в ПКМ и служат первопричиной начала разрушений ПКМ.

В пятой главе представлены результаты физико-математического моделирования процессов. Разработана математическая модель, подтвердившая сформулированную ранее физическую модель, и позволила представить, что за счет ПНЭИ происходит формирование более развитой поверхности, что в итоге позволяет увеличить $S_{уд}$, являющейся одной из главных характеристик при увеличении адгезионной прочности между армирующим наполнителем и полимерным связующим.

В шестой главе разработана технология получения армирующих из СВМПЭ-материалов, АДКВ, АДКТ, УВ с применением воздействия ПНЭИ для увеличения межфазного взаимодействия с полимерной матрицей при создании ПКМ. Предложены научно-технологические основы создания полимерных композиционных материалов с использованием армирующего наполнителя модифицированного технического текстиля из органических и неорганических волокон за счет воздействия ПНЭИ.

6. Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Содержание работы показывает, что диссертация соответствует паспорту научной 2.6.17. Материаловедение:

п.1 - Разработка новых металлических, неметаллических и композиционных материалов, в том числе капиллярно-пористых, с заданным комплексом свойств путем установления фундаментальных закономерностей влияния дисперсности, состава, структуры, технологии, а также эксплуатационных и иных факторов на функциональные свойства материалов. Теоретические и экспериментальные исследования фундаментальных связей состава и структуры металлических, неметаллических материалов и композитов с комплексом физико-механических и эксплуатационных свойств с целью обеспечения надежности и долговечности деталей, изделий, машин и конструкций (химической, нефтехимической).

п.2 - Установление закономерностей физико-химических и физико-механических процессов, происходящих в гетерогенных и композиционных структурах. (п.2).

п.4. - Разработка физико-химических и физико-механических процессов формирования новых металлических, неметаллических и композиционных материалов, обладающих уникальными функциональными, физико-механическими, биомедицинскими, эксплуатационными и технологическими свойствами, оптимальной себестоимостью и экологической чистотой.

п.5. Установление закономерностей и критериев оценки разрушения металлических, неметаллических и композиционных материалов и функциональных покрытий от действия механических нагрузок и внешней среды.

п.15. Разработка процессов получения новых металлических, неметаллических и композиционных материалов биомедицинского назначения, установление закономерностей влияния состава, структуры, технологии получения, а также эксплуатационных и других факторов на свойства биомедицинских изделий.

7. Подтверждение опубликования результатов диссертации в научных изданиях

Результаты работы отражены в 46 печатных работах, в том числе в 12 статьях в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, в 5 статьях в научных журналах, индексируемых в международных базах данных Scopus/Web of Science, в 5 статьях в иных научных журналах, остальные – в материалах конференций различного уровня.

8. Соответствие содержания автореферата основным идеям и заключению диссертации

Автореферат отражает и полностью раскрывает цель, основное содержание и заключение диссертации., а также соответствует её структуре.

9. Вопросы и замечания по работе

1. В главе 3, на странице 160 написано, «установлено, что за счет воздействия ПНЭИ происходит повышение однородности по m по всей l волокна». Чем Вы это объясняете?

2. На странице 157, в Таблице 3.33 по результатам исследования межслоевой прочности $\sigma_{\text{межслоевой}}$ не понятно, что такое b , мм.

3. В главе 3 описано влияние ПНЭИ на механические характеристики УВ и СВМПЭ-волокон. Были ли проведены тесты на усталостную прочность модифицированных композитов, и как они сравниваются с не модифицированными?

4. В диссертации упоминается долговечность эффекта модификации для СВМПЭ-волокон более 5 лет. Какие экспериментальные данные подтверждают эту стабильность, и учитывались ли факторы внешней среды? Влажность, температура?

5. Таблица 3.18 на странице 138. За счет чего повышается модуль упругости ПКМ после воздействия ПНЭИ?

6. Показано, что смачиваемость у АДКВ после воздействия ПНЭИ увеличивается через несколько дней. Предъявляются ли требования к условиям окружающей среды, в которых должны находиться обработанные материалы?

7. Почему при модификации объектов исследования использовали расходный режим по плазмообразующему газу?

10. Соответствие диссертации критериям ВАК РФ

Диссертация Сагитовой Фариды Равилевны отвечает всем требованиям ВАК Российской Федерации к докторским диссертациям: поставлена и решена важная научная проблема, получены существенные результаты, обладающие научной новизной и практической значимостью, основные результаты опубликованы в ведущих рецензируемых журналах, индексируемых в международных базах и из Перечня ВАК РФ, результаты апробированы на конференциях различного уровня и внедрены в промышленное использование.

Считаю, что представленная диссертация является законченной научно-квалификационной работой и полностью удовлетворяет всем критериям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК Минобрнауки РФ, предъявляемым к докторским диссертациям (утверждено Постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013).

11. Заключение

Исследование Сагитовой Ф.Р. обладает научной новизной, теоретической значимостью и практическим потенциалом. Автореферат соответствует структуре диссертации и полностью раскрывает её содержание. Достигнутые результаты автора полностью соответствуют поставленным целям и задачам, а диссертация содержит мотивированные выводы и заключения по всем аспектам выполненной работы и предложения по их использованию в науке и технологиях.

Диссертационная работа представляет научно-обоснованные разработки для решения ряда важнейших научных и прикладных задач производства материалов для автомобилестроения, производства изделий медицинского назначения, с применением метода получения ПКМ армированных модифицированными ПНЭИ волокнистых материалов органического и неорганического происхождения с улучшенными прочностными характеристиками

Диссертационная работа Сагитовой Фариды Равилевны «Научно-технологические основы создания и регулирования характеристик нового поколения полимерных композиционных материалов, армированных модифицированными потоком низкоэнергетических ионов волокнистыми наполнителями органической и неорганической природы» представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, выполненную на высоком научном и научно-техническом уровне, автор работы Сагитова Фариды Равилевны

обладает необходимыми научными достижениями и заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение.

Я, Славин Андрей Вячеславович, согласен на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Славин Андрей Вячеславович

19.03.2026

Официальный оппонент

доктор технических наук, доцент, начальник научно-исследовательского отделения «Функциональные материалы и технологии синтеза» федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт – ВИАМ)

Славин Андрей Вячеславович

Славин Андрей Вячеславович, доктор технических наук (05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки), начальник научно-исследовательского отделения «Функциональные материалы и технологии синтеза» федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт – ВИАМ), доцент по кафедре «Технологии обработки и производства материалов»

Адрес: 105005, Россия, г. Москва, ул. Радио, дом 17, телефон: +7 (499) 263-88-90, электронная почта: slavinav@viam.ru

Подпись Славина Андрея Вячеславовича удостоверяю

Зам. председателя (Ученого совета),
к.т.н., доцент

Свириденко Данила Сергеевич

Вход. № 05-8854
« 27 » 03 2026 г.
подпись *Дас*