

**Акционерное общество
«ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ
СПЕЦИАЛЬНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ»
(АО «ЦНИИСМ»)**

ул.Заводская, г.Хотьково, Московская обл., 141371
Тел.993-00-11, факс 8 (49654) 3-82-94
e-mail: tsniism@tsniism.ru
<http://www.tsniism.ru>
ИНН/КПП 5042003203/504201001

« _____ » _____ 2021 г. № _____

На № _____ от _____ 2021г.

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель генерального
директора и главного конструктора
Акционерного общества «Центральный
научно-исследовательский институт
специального машиностроения»,
д.т.н., профессор, Лауреат
Государственной премии СССР, премии
Правительства Российской Федерации,
премии Ленинского комсомола,
Заслуженный деятель науки РФ,
почетный работник промышленности



Кульков А. А.

« 18 » _____ 2021г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – Акционерного общества «Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения» на диссертационную работу Колпачкова Егора Дмитриевича **«Гибридный полимерный композиционный материал для лопастей турбовинтовых двигателей»**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – «Материаловедение (машиностроение)».

1. Актуальность темы диссертационной работы

За последние несколько десятилетий полимерные композиционные материалы (ПКМ) стали неотъемлемой частью конструкций авиационной и ракетно-космической техники, что объясняется высокими показателями удельной прочности для всех типов материала этого класса. Тем не менее, в попытках ещё больше повысить значения весовой эффективности летательных аппаратов конструктора и технологи пришли к выводу, что необходимо совмещение разнородных материалов в объеме одной конструкции. Результаты работ в этом направлении привели к созданию трехслойных конструкций, состоящих из оболочек на основе ПКМ и заполнителей (пенопласты, соты и т.д.). Однако, в случае совмещения материалов с различной химической природой необходимо учитывать технологические особенности переработки каждого

из них. В противном случае может иметь место негативное влияние технологических параметров формования одного материала на другой, что в конечном счете будет приводить к образованию брака в изделиях. В связи с этим, разработка материалов оболочки конструкций, совместимых по технологическим параметрам переработки с материалами-заполнителями является актуальной задачей.

Ещё одной немаловажной задачей является поиск и применение новых методов модификации армирующих наполнителей для получения ПКМ с требуемым уровнем упруго-прочностных свойств. Как правило, обеспечение необходимого уровня характеристик композиционного материала в составе конструкции достигается за счет применения полимерных связующих и армирующих наполнителей с известным уровнем. Однако, немаловажной составляющей является межфазное взаимодействие указанных компонентов в объеме изделия. На сегодняшний день существует ряд способов интенсифицировать взаимодействие на границе связующее-наполнитель, но наиболее перспективным является именно ионно-плазменная обработка, благодаря отсутствию вредных факторов при её использовании и в отдельно взятых случаях, не требующей сложного аппаратного оформления. Несмотря на указанные достоинства, примеры применения ионно-плазменной обработки для получения ПКМ с новым уровнем свойств по существующим промышленным технологиям не так широко представлены в литературе. Вот почему исследование влияния ионно-плазменной обработки армирующих наполнителей на свойства ПКМ является актуальной задачей современного материаловедения.

2. Цель и задачи работы

Целью своей работы автор ставит разработку состава и технологии изготовления гибридного полимерного композиционного материала на основе связующего с температурой отверждения не более 150°C и исследование влияния низкотемпературной плазменной обработки наполнителей на комплекс свойств гибридных полимерных композиционных полимерных материалах (ГПКМ), предназначенных для применения в лопастях турбовинтовых двигателей.

Для достижения поставленной цели, автор решает следующие задачи:

1. Подбор композиций связующего с температурой отверждения не более 150°C и исследование комплекса их свойств.
2. Разработка состава и технологии изготовления ГПКМ на основе связующего с температурой отверждения не более 150°C .
3. Исследование влияния ионно-плазменной обработки на свойства стеклянных

и углеродных армирующих наполнителей.

4. Исследование влияния армирующих наполнителей, подвергнутых ионно-плазменной обработке, на структуру и свойства ГПКМ, в том числе во влагонасыщенном состоянии.

3. Достоверность результатов

Обоснованность и достоверность результатов определяются использованием известных положений фундаментальных наук, корректностью используемых методик и нормативных документов. Кроме того, при выполнении диссертационной работы Колпачковым Е.Д. использованы современные методы исследований (электронная микроскопия, методы термического анализа: дифференциальная сканирующая калориметрия, термомеханический анализ, и др.), что обеспечивает достоверность полученных результатов.

4. Структура, объем и основное содержание диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, выводов, списка использованной литературы из 112 наименований, содержит 48 рисунков, 22 таблицы, изложена на 112 страницах машинописного текста.

Во введении обоснована актуальность решаемой проблемы, сформулированы цели и задачи исследований, отражены основные положения, полученные лично автором, отмечена научная новизна и практическая значимость диссертационной работы.

В первой главе проведен обзор отечественной и зарубежной научно-технической литературы об истории развития ПКМ, примерах разработки и применения, объемах потребления и перспективах роста. Проанализированы теоретические подходы к созданию ГПКМ, продемонстрированы примеры разработок и применения в изделиях авиационной техники. Отражена проблематика работа, связанная с применением многокомпонентных систем, в конструкциях лопастей турбовинтовых двигателей. Приведены основные механизмы образования плазмы, особенности оборудования. Рассмотрены примеры применения ионно-плазменной обработки армирующих наполнителей для получения ПКМ с новым уровнем упруго-прочностных свойств.

Во второй главе приведены основные объекты исследования – компоненты композиций связующих с указанием химической природы, армирующие наполнители с нормативной документацией, а также используемого связующего. Представлены основные методы изготовления использованные в рамках работы. В работе

использованы широко применяемые методы исследования, выполняемые в соответствии с требованиями действующих стандартов на современном оборудовании. Представлено оборудование и условия проведения ионно-плазменной обработки армирующих наполнителей в условиях вакуума и при атмосферном давлении.

В третьей главе представлены результаты проведенных работ по подбору состава композиции связующего и разработке ГПКМ на его основе. Приведены результаты исследования вязкости и температуры стеклования исследуемых композиций. По результатам исследования физико-механических характеристик образцов стеклоуглепластиков показано, что образцы на основе экспериментальной композиции № 4 по совокупности параметров выполняют условие по обеспечению уровня упруго-прочностных свойств. Показано, что композиция № 4 выбрана в качестве основного состава связующего, которому присвоена марка ВСЭ-65. В данной главе также показаны результаты работы, направленной на подбор углеродного армирующего наполнителя взамен используемого в ранее разработанном материале аналоге. Приведены результаты определения физико-механических характеристик, по которым сделан вывод, что ткань углеродная марки ВТкУ-3.290 является наиболее близкой совокупности свойств ленте УОЛ-300-1А и позволяет реализовать необходимый уровень характеристик в составе образцов стеклоуглепластика. Далее представлены результаты разработки режимов изготовления разработанного стеклоуглепластика методами пропитки под давлением и вакуумной инфузии. Показана оценка физико-химических свойств связующего после воздействия различных конечных температур формования, а также комплекса свойств образцов ГПКМ. По результатам сделано заключение, что минимально необходимой температурой формования является $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Приведены результаты исследования влияния используемой технологии изготовления на уровень упруго-прочностных свойств образцов стеклоуглепластика. Показано, что обе технологии – пропитка под давлением и вакуумная инфузия позволяют реализовать комплекс свойств на одном уровне. В заключении приводится информация, что по результатам проведенных работ, разработан состав и технология изготовления стеклоуглепластика и ему присвоена марка ВКГ-6.

Четвертая глава, посвящена исследованию влияния ионно-плазменной обработки на свойства армирующих наполнителей и образцов стеклоуглепластиков на их основе. Приведены результаты исследования влияния ионно-плазменной обработки стеклянных и углеродных наполнителей, показывающие сохранение эффекта

увеличения гидрофильности в течение не менее 8 суток. По результатам сравнения различных методов ионно-плазменной обработки – атмосферного давления и в вакууме, сделано заключение об отсутствии существенных различий в достигаемых показателях смачиваемости, однако в дальнейшей работе автор принимает решение использовать только ионно-плазменную обработку атмосферного давления, так как она требует меньше трудо- и энергозатрат. В ходе исследований влияния режимов обработки установлено, что режим со скоростью 15 мм/с позволяет достигать наибольших показателей смачиваемости. Также в данной главе приводятся результаты исследования влияния обработки на свойства аппретирующих составов, нанесенных на стеклянные и углеродные волокна. В работе установлена закономерность: - ионно-плазменная обработка стеклянных волокон, приводит к увеличению среднего размера частиц аппрета, что предположительно объясняется образованием соединения с большим удельным объёмом, в то время как после обработки поверхности углеродных волокон, наблюдается уменьшение среднего размера частиц аппрета, что может быть связано с эрозией пленки аппретирующего вещества. Приведены результаты определения физико-механических свойств ПКМ на основе обработанных наполнителей. Показано, что в среднем ионно-плазменная обработка поверхности способствует росту пределов прочности при сжатии и изгибе. Результаты микроструктурных исследований в свою очередь показывают более активное взаимодействие на границе волокно-матрица для образцов ГПКМ на основе обработанных наполнителей. Результаты исследования влияния ионно-плазменной обработки наполнителей на свойства ГПКМ во влагонасыщенном состоянии свидетельствуют о том, что образцы стеклоуглепластиков на основе обработанных наполнителей способны демонстрировать более высокий процент сохранения предела прочности при изгибе, имея при этом более высокое содержания влаги.

В пятой главе, посвященной практической реализации полученных результатов приведена оформленная нормативно-техническая документация на разработанные материалы, указан полученный патент и оформленный паспорт на разработанный стеклоуглепластик.

В заключении изложены основные выводы и результаты работы.

5. Соответствие автореферата диссертационной работе

Автореферат в полной мере соответствует диссертационной работе, в достаточной степени отражает научную новизну, содержание, результаты и полученные выводы.

6. Научная новизна суммируется в следующих пунктах:

1. Установлено, что полученный в результате ионно-плазменной обработки в вакууме эффект увеличения смачиваемости волокна сохраняется в течение не менее 8 суток после обработки. При этом показано, что полученный уровень краевого угла смачивания и капиллярности армирующих наполнителей может быть достигнут при помощи ионно-плазменной обработки, как в вакууме, так и при атмосферном давлении.

2. Установлено, что скорость ионно-плазменной обработки поверхности армирующих наполнителей влияет на краевой угол смачивания и капиллярность волокон, при этом максимальные значения указанных параметров достигаются при скорости обработки поверхности 15 мм/с.

3. Установлено влияние ионно-плазменной обработки на размер частиц аппретирующего состава на поверхности стеклянных и углеродных волокон. Показано, что ионно-плазменная обработка приводит к увеличению среднего размера частиц аппрета на поверхности стеклянных волокон, что может быть связано с протеканием химической реакции в аппрете и образованием соединения с большим удельным объемом. Уменьшение среднего размера частиц на поверхности углеродных волокон, предположительно объясняется эрозией пленки аппретирующего состава.

4. Установлено, что ионно-плазменная обработка армирующих наполнителей приводит к повышению комплекса упруго-прочностных характеристик образцов ГПКМ в исходном состоянии. Впервые показано, что ионно-плазменная обработка способствует увеличению сорбции влаги образцами ГПКМ, однако обеспечивая более высокое сохранение прочности во влагонасыщенном состоянии, чем у образцов ГПКМ на основе необработанных наполнителей.

7. Практическая значимость работы

Практическая значимость работы состоит в подборе оптимального состава эпоксидного связующего, которому в дальнейшем присвоена марка ВСЭ-65, и разработке стеклоуглепластика марки ВКГ-6. Немаловажной частью практической значимостью является и то, что на все разработанные материалы оформлена техническая и технологическая документация (ТИ, ТУ, ТР), а разработанный стеклоуглепластик марки ВКГ-6 прошел процедуру паспортизации с оформлением паспорта на материал и рекомендован к испытанию в производственно-эксплуатационных условиях. В результате выполнения работы получен патент РФ № 2749720 от 16.06.2021 г.

8. Рекомендации по использованию результатов исследования

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы при создании современных и модернизации существующих элементов конструкций авиационной и ракетно-космической техники. Результаты могут применяться на предприятиях авиационной отрасли, входящих в структуры ПАО «ОДК» и «АВИСА».

9. Публикации по теме диссертации

По материалам диссертации опубликованы 5 научных публикаций, в том числе 4 публикации в изданиях входящих в перечень ВАК Минобрнауки России, 1 патент Российской Федерации на состав материала. Кроме того, автором опубликовано 2 работы в сборниках докладов всероссийских чтений и конференций.

10. Замечания по диссертационной работе

1. При разработке режимов переработки стеклоуглепластика, автор использует несколько температур формования 130, 140 и 150 °С, однако при этом для всех температур выбрано одно и то же время формования, что нелогично с точки зрения кинетики химических реакций.

2. В таблице 17 некорректно представлены результаты – часть в дробном виде с десятичными долями, часть целыми значениями.

3. В разделе 4.2 приведены исследования упруго-прочностных свойств стеклоуглепластиков на основе обработанных наполнителей. Однако среди исследуемых характеристик присутствуют только предел прочности при сжатии и изгибе, что вероятно не позволяет сделать полноценный вывод о влиянии ионно-плазменной обработки на комплекс физико-механических свойств ГПКМ.

4. В целом по работе представлено большое количество результатов экспериментальных исследований, однако статическая обработка данных встречается только у результатов исследования влияния ионно-плазменной обработки на свойства волокон (на графики нанесены доверительные интервалы). Для остальных результатов не приведена статистическая обработка.

Перечисленные замечания не ставят под сомнение новизну, основные выводы и результаты работы, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук.

11. Заключение

Диссертационная работа Колпачкова Егора Дмитриевича на тему: «Гибридный полимерный композиционный материал для лопастей турбовинтовых двигателей» представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по

специальности 05.16.09 «Материаловедение (машиностроение)», представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, имеющей актуальность, научную новизну, практическую ценность, и в полной мере удовлетворяет требованиям и критериям, установленным в п. 9 «Положения о порядке присуждения научных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842; отвечает требованиям ВАК, предъявленным к кандидатским диссертациям, а ее автор Колпачков Е.Д. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – «Материаловедение (машиностроение)».

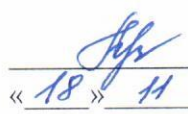
Материалы диссертации и отзыв на нее заслушаны и одобрены на секции №3 Научно-технического совета АО «ЦНИИ специального машиностроения», протокол № 08-2021 от «17» ноября 2021 г. и рекомендованы к утверждению.

Отзыв составлен:

Начальник отдела
полимерных конструкционных
материалов
АО «ЦНИИСМ», к.т.н.


К.С. Пахомов
«18» 11 2021г.

Подпись к.т.н. Пахомова Кирилла Сергеевича заверяю
Секретарь научно-технического Совета АО «ЦНИИСМ»


«18» 11 2021г.


Акционерное общество «Центральный
научно-исследовательский институт
специального машиностроения»
Россия, Московская обл., 141371,
г. Хотьково, ул. Заводская
Тел. 993-00-11, факс 8 (49654) 3-82-94, 3-13-30
e-mail: tsniism@tsniism.ru