

На правах рукописи

СТАРКОВ АЛЕКСЕЙ ИГОРЕВИЧ

**ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПониЖЕННОЙ
ГОРЮЧЕСТИ НА ОСНОВЕ КЛЕЕВЫХ ПРЕПРЕГОВ**

Специальность 2.6.11. «Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов»

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Москва 2025 г.

Работа выполнена в федеральном государственном унитарном предприятии «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ).

Научный руководитель: **Куцевич Кирилл Евгеньевич**
Кандидат технических наук
Начальник лаборатории НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ

Официальные
оппоненты: **Дедов Александр Васильевич**
Доктор технических наук
Преподаватель кафедры «Инновационные материалы
принтмедиаиндустрии»
ФГАОУ ВО «Московский Политехнический университет»

Насонов Федор Андреевич
Кандидат технических наук
Ведущий технолог 2 класса отдела 48 НИО-21
ПАО «ОАК» «ОКБ Сухого»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» (КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева).

Защита состоится «___» июля 2025 г. в ___:00 часов на заседании диссертационного совета 31.1.002.01 при НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ по адресу: 105005, г. Москва, ул. Радио, д.17. Тел. 8 (499) 267-86-77, e-mail: admin@viam.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ и на сайте www.viam.ru

Отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью, просим направлять по адресу: 105005, г. Москва, ул. Радио, д.17, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, учёному секретарю диссертационного совета.

Автореферат разослан «___» _____ 2025 г.

Учёный секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук

М.А. Горбовец

© НИЦ «Курчатовский институт – ВИАМ, 2025

© Старков А.И., 2025

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Тенденция повышения доли полимерных композиционных материалов в конструкции современной авиационной техники, включая их совместное использование с различными наполнителями, связана с ростом требований к упругим и прочным характеристикам конструкционных материалов, а также к экономической, энергетической и весовой эффективности готового изделия.

С точки зрения эффективности по весу наиболее целесообразно сосредотачиваться на уменьшении массы компонентов конструкции, которые составляют существенную часть воздушного судна, например, таких компонентов, как интерьер. Широкое применение трехслойных сотовых панелей из ПКМ, состоящих из двух обшивок, сотового наполнителя и скрепленных между собой с использованием высокопрочного пленочного клея, способствовало значительному увеличению весовой эффективности конструкций самолетов.

При разработке нового поколения самолетов, в которых планировалось использовать больше полимерных композиционных материалов, стояла задача создания материалов с новым набором свойств, отвечающих жестким требованиям, включая пожаробезопасность (при использовании полимерных композиционных материалов в авиационном интерьере) и обеспечивающих работу изделий в различных климатических условиях. Кроме пожаробезопасности, этим требованиям удовлетворяют полимерные композиционные материалы на основе клеевых препрегов, где тканевый наполнитель насыщен клеевым эпоксидным связующим, нанесенным в расплавленном состоянии.

Клеевые препреги на основе клеевых связующих обладают реологическими параметрами, сопоставимыми с традиционными связующими, но отличаются тем, что обладают клеящими свойствами. Благодаря этой комбинации, клеевые препреги обеспечивают высокоэффективный процесс сборки клееных конструкций из неметаллических материалов, включая сотовые структуры простой и сложной формы, где формирование обшивки и ее склеивание с сотовым наполнителем происходит одновременно в рамках одной технологической операции. Эта техника также позволяет создавать как трёх- и многослойные сотовые конструкции, так и интегральные или комбинированные детали, объединяя сотовые и монолитные элементы, изготовленные методами автоклавного и прямого прессования в зависимости от требований и поставленных задач.

Полимерные композиционные материалы марок КМКС и КМКУ, разработанные в НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ, получили широкое применение в авиационной технике, однако они имеют невысокий уровень пожарной безопасности, что ограничивает их использование в авиационном интерьере (в частности для панелей пола). Для обеспечения безопасности пассажиров и грузов в процессе использования авиационной техники необходимо создание полимерных материалов с повышенным уровнем пожарной безопасности и прочностных свойств, соответствующих авиационным правилам пожарной безопасности в соответствии с главами авиационных норм АП-25 и НЛГ 25.

Цель работы – разработка состава и технологии изготовления клеевых препрегов и полимерных композиционных материалов (угле- и стеклопластиков) пониженной горючести на их основе и с теплостойкостью не ниже 80°C.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Разработаны составы и технологии изготовления клеевых препрегов для ПКМ пониженной горючести;
2. Определены оптимальные условия формирования структуры полимерных композиционных материалов (угле- и стеклопластика) в процессе отверждения клеевого связующего в составе клеевого препрега;
3. Исследованы и установлены свойства ПКМ (пожаробезопасность, характер изменения свойств при воздействии внешних факторов);
4. Исследовано влияние режима формования и разработана технология изготовления толстостенной конструкции пониженной горючести на основе углепластика и исследованы её свойства;
5. Исследовано влияние режима формования и разработана технология изготовления трехслойных сотовых конструкций пониженной горючести, предназначенных для изготовления панелей пола.

Научная новизна работы:

1. На основании проведенных исследований разработаны научно обоснованные температурно-временные параметры режимов формования монолитных, в том числе толстостенных, и трехслойных сотовых конструкций из клеевых угле- и стеклопрепрегов на основе связующего ВСК-14-6, с оптимальными характеристиками вязкости в процессе его отверждения и обеспечивающие высокий уровень прочностных характеристик конструктивных элементов за счет равномерного распределения связующего по объёму ПКМ и формирования качественных галтелей в трехслойных сотовых панелях.
2. Установлено, что за счет сочетания оптимальных реологических характеристик клеевого связующего пониженной горючести ВСК-14-6 (вязкость 20 – 30 Па·с при 80 °С в течение 5 часов) с установленными режимами формования, вследствие пропитки межволоконного пространства без воздушных пор, достигается синергический эффект огнезащиты, обеспечивающий защиту внутренних слоев конструкции от воздействия открытого пламени и повышенный уровень пожарной безопасности.

Практическая значимость работы:

1. Разработана технология изготовления клеевого препрега углепластика марки ВКУ-59 на основе клеевого связующего пониженной горючести марки ВСК-14-6 с теплостойкостью 80°С и углеродного жгутового наполнителя марки УВ-12К и оформлен комплект нормативной документации: ТИ 1.595-11-1173-2018, ТУ 1-595-11-1775-2018, ТУ 1-595-УНТЦ-1930-2021 «Заготовки панелей пола из полимерных композиционных материалов», а также паспорт № 1994 на углепластик ВКУ-59.
2. Разработана технология изготовления клеевого препрега стеклопластика марки ВПС-68 на основе клеевого связующего пониженной горючести марки ВСК-14-6 с теплостойкостью 80°С и стеклоткани Т-60/2(ВМП) и оформлена следующая документация: ТИ 1.595-11-1174-2018, ТУ 1-595-11-1776-2018. Оформлен паспорт № 1995 на стеклопластик ВПС-68.
3. Разработана технология изготовления монолитных и трехслойных сотовых конструкций панелей пола с обшивками из клеевых препрегов и оформлена ТР 1.2.2757-2019 «Изготовление монолитных и трехслойных сотовых конструкций панелей

пола с обшивками из клеевых угле- и стеклопрепегов на основе клеевого связующего марки ВСК-14-6».

4. Организован серийный выпуск разработанных клеевых препегов на сертифицированном производстве НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ.

5. Оформлено Решение № 11424-0182-143 об организации изготовления и поставки трехслойных сотовых заготовок панелей пола из полимерных композиционных материалов (углепластик марки ВКУ-59 и стеклопластик марки ВПС-68) производства НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ.

6. Углепластик марки ВКУ-59 и стеклопластик марки ВПС-68 внесены в конструкторскую документацию самолетов Ил-114-300 и Ил-76МД-90А для изготовления заготовок панелей пола на основе разработанных материалов.

Положения, выносимые на защиту:

1. Составы композиционных материалов пониженной горючести на основе клеевых препегов с различным соотношением содержания связующего и угле- и стеклонаполнителя в зависимости от типа конструкций (монолитных или сотовых).

2. Технология изготовления прецизионных калиброванных клеевых препегов, обеспечивающая минимальный разброс по содержанию клеевого связующего в клеевом препеге (не более $\pm 2\%$).

3. Технология изготовления композиционных материалов (углепластика и стеклопластика) пониженной горючести из клеевых препегов на основе клеевого связующего пониженной горючести с теплостойкостью 80 °С и угле- и стеклонаполнителя, в том числе монолитной, толстостенной и сотовой конструкции, методом автоклавного формования.

4. Результаты исследования комплекса физико-механических и функциональных свойств композиционных материалов (углепластика марки ВКУ-59 и стеклопластика марки ВПС-68) в составе образцов монолитной и трехслойной сотовой конструкции.

5. Результаты исследования свойств конструктивных образцов толстостенной конструкции и трехслойной сотовой конструкции панелей пола с обшивками из клеевых препегов.

Личный вклад автора состоит в методической постановке работы, непосредственном участии в работах по выбору клеевого связующего марки ВСК-14-6 пониженной горючести, исследованию его реологических характеристик, выбору угле- и стеклонаполнителей, разработке технологии изготовления клеевых препегов, разработке технологических режимов изготовления полимерных композиционных материалов (угле- и стеклопластика) пониженной горючести на основе клеевых препегов, разработке режимов изготовления монолитных толстостенных и трехслойных сотовых конструкций, в том числе сотовых конструкций панелей пола, за один технологический цикл, обработке экспериментальных данных, составлении выводов на основании их анализа.

Достоверность полученных в работе результатов подтверждается использованием аттестованного, поверенного современного оборудования при проведении экспериментов.

Апробация результатов. Основные результаты работы докладывались: Материалы IV Всероссийской научно-технической конференции «Полимерные композиционные материалы и производственные технологии нового поколения». Москва, 2019 г.; Всероссийская научно-

техническая конференция «Полимерные композиционные материалы нового поколения и технологии их переработки», Москва, 2020 г.; VI Всероссийская научно-техническая конференция «Полимерные композиционные материалы и производственные технологии нового поколения», Москва, 2022 г.; XXIII Международная научно-техническая конференция «Конструкции и технологии получения изделий из неметаллических материалов», Обнинск, 2024 г.; VIII Всероссийской научно-технической конференции «Полимерные композиционные материалы и производственные технологии нового поколения», Москва, 2024 г.

Внедрение результатов работы. Организован серийный выпуск разработанных клеевых препрегов на сертифицированном производстве НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ. Оформлено Решение № 11424-0182-143 об организации изготовления и поставки трехслойных сотовых заготовок панелей пола из полимерных композиционных материалов (углепластик марки ВКУ-59 и стеклопластик марки ВПС-68 производства НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ для самолета Ил-114-300.

Публикации. По результатам диссертации опубликовано 13 научных работ, из них 4 в изданиях, входящих в перечень ВАК, 1 в журнале, включенном в международную систему цитирования Web of Science и Scopus и 1 патент РФ.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и основных выводов, списка литературы из 125 наименований, содержит рисунков – 44, таблиц – 34. Общий объём диссертации – 135 страниц машинописного текста.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность работы, сформулированы цели и задачи исследований, отражены основные достигнутые результаты, которые выносятся на защиту, научная новизна и практическая значимость работы.

Первая глава представляет собой литературный обзор, в котором рассмотрена литература, посвящённая применению полимерных композиционных материалов (далее ПКМ) в авиации. Рассмотрены основные наполнители при производстве ПКМ и отдельно рассмотрены углеродные и стеклянные волокна, которые представляют наибольший интерес для использования в составе ПКМ авиационного назначения.

Рассмотрены типы связующих, наиболее широко применяемых для изготовления ПКМ. Отдельно рассмотрены клеящие материалы на основе эпоксидных олигомеров. Изучены пути снижения пожароопасности ПКМ, а также трехслойных сотовых конструкций и технологии их изготовления.

По результатам анализа литературного обзора установлено, что в настоящее время при изготовлении сотовых конструкций на основе ПКМ применяемых для изготовления панелей пола самолетов, как отечественных так и зарубежных, используется традиционная многоступенчатая технология сборки с применением пленочного клея для склеивания предварительно отформованной обшивки с сотовым наполнителем, ведущая к увеличению массы и трудоемкости изготовления. Также была отмечена эффективность применения для изготовления сотовых конструкций клеевых препрегов на угле- и стеклонаполнителях.

Ввиду существенного объема, занимаемого сотовыми конструкциями, в том числе панелями пола, во внутренней части самолета, а также ввиду наличия требований

авиационных правил АП-25 по ограничению горючести конструкций панелей пола, в настоящее время существует необходимость в разработке составов и технологий изготовления полимерных композиционных материалов пониженной горючести на основе клеевых препрегов марок КМКУ и КМКС с теплостойкостью 80 °С, с уровнем технологических свойств и прочностных характеристик на уровне или превышающих зарубежные аналоги и соответствующих требованиям АП-25 Приложение F часть I.

Также представляет научный и практический интерес разработка технологий изготовления различных элементов конструкций самолета из ПКМ с использованием полимерных композиционных материалов с пониженной горючестью, в том числе толстостенных конструкций или панелей пола сотовой конструкции, что будет способствовать расширению объемов использования этих перспективных материалов.

Литературный обзор составлен на основании 100 опубликованных источников.

Вторая глава посвящена описанию объектов исследований и используемым методам испытаний.

В качестве объектов исследований выбраны: клеевые связующие марок ВСК-14-1 и ВСК-14-6; углеродные наполнители такие как углеродная однонаправленная лента Ст-11088 и среднепрочный углеродный жгут УВ-12К; стеклянные конструкционные ткани марок Т-10-14 и Т-60/2(ВМП)-14.

В работе использованы следующие методы исследования: термоаналитические методы исследования образцов связующего и ПКМ, микроструктурные исследования, физико-механические методы испытаний образцов ПКМ и трехслойных сотовых конструкций из ПКМ, методы определения характеристик пожаробезопасности, методы определения устойчивости к воздействию внешних факторов (экспозиция в имитационных камерах и технических средах) образцов ПКМ и исследования остаточной прочности после экспозиции в ожидаемых условиях эксплуатации.

Третья глава, является экспериментальной частью диссертационной работы, в которой представлены результаты исследований, направленных на разработку технологии изготовления клеевых препрегов на основе углеродных и стеклянных наполнителей. Исследована кинетика реакций отверждения клеевого связующего марки ВСК-14-6 в составе клеевого препрега в результате чего разработан режим отверждения клеевых препрегов угле-стеклопластиков, в том числе для изготовления сотовых конструкций. Методами ДСК и микроструктурных исследований угле-стеклопластиков подтверждена правильность разработанного режима отверждения. Методами определения характеристик пожаробезопасности, таких как горючесть, дымообразующая способность и токсичность ПКМ, в том числе трехслойных сотовых конструкций, установлено соответствие требованиям АП-25 и НЛГ-25 по горючести. Оценена остаточная прочность углепластика марки ВКУ-59 и стеклопластика марки ВПС-68, а также образцов клеевых соединений на основе клеевых препрегов с увеличенным содержанием связующего, после экспозиции в ожидаемых условиях эксплуатации.

Для разработки клеевых препрегов и ПКМ на их основе было выбрано клеевое связующее пониженной горючести марки ВСК-14-6, обладающее пониженной горючестью за счет содержания в своём составе бром- и хлорсодержащих эпоксидных смол,

полигидроксиэфира и модифицированной бисмалеимидом эпоксидной смолы. Теплостойкость выбранного связующего составляет 80 °С.

Были исследованы процессы отверждения клеевого связующего марки ВСК-14-6 пониженной горючести в сравнении с клеевым связующим марки ВСК-14-1 с теплостойкостью 80 °С, не содержащим соединений, снижающих горючесть, с целью исследования влияния бромосодержащих олигомеров на процесс отверждения (таблица 1).

Таблица 1 – Температурные параметры процесса отверждения клеевого связующего ВСК-14-6 в сравнении с клеевым связующим ВСК-14-1

Наименование показателей	Значение показателей для клеевых связующих марок	
	ВСК-14-6	ВСК-14-1
Температура начала активной реакции отверждения связующего в препреге (скорость нагрева 10 К/мин), °С	156,6	151,7
Температура максимума пика отверждения связующего в препреге, °С	165,4	166,07
Тепловой эффект реакции отверждения, Дж/г	306,51	327,5

Пониженный тепловой эффект реакции отверждения клеевого бромсодержащего клеевого связующего марки ВСК-14-6 свидетельствует о его меньшей химической активности в сравнении с клеевым связующим ВСК-14-1.

Исследованы реологические свойства клеевого связующего ВСК-14-6 в сравнении с клеевым связующим ВСК-14-1. Результаты исследований представлены на рисунке 1.

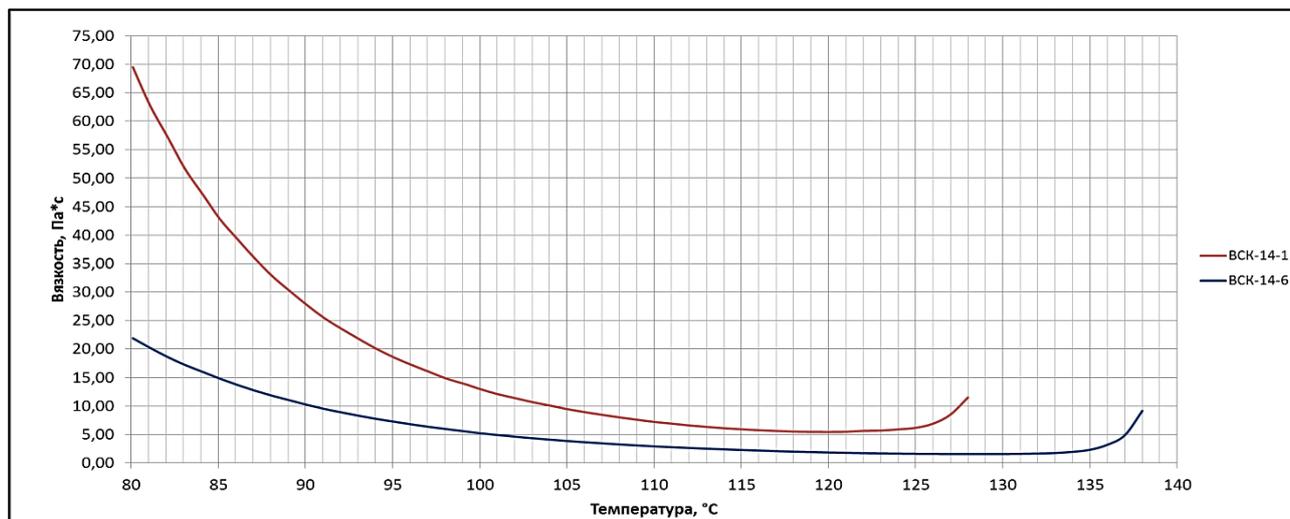


Рисунок 1 – Зависимость динамической вязкости клеевых связующих ВСК-14-6 и ВСК-14-1 от температуры

В зависимости от температуры динамическая вязкость связующих ВСК-14-6 и ВСК-14-1 представленная на рисунке 1, показывает, что в промежутке от 80 до 138 °С клеевое связующее ВСК-14-6 обладает пониженными вязкостными характеристиками в сравнении со связующим ВСК-14-1. Следует отметить, что температура, при которой достигается наименьшее значение динамической вязкости для каждого связующего, не является оптимальной для переработки связующего в препрег, так как при последующем нагреве наблюдается скачкообразное повышение динамической вязкости, что характеризует начало процесса гелеобразования.

Установлено, что продолжительный нагрев связующего при температуре 80 °С в течение 5 часов не вызывает существенного изменения вязкости расплава и, как следствие, гелеобразование в данном диапазоне не наступает (рисунок 2).

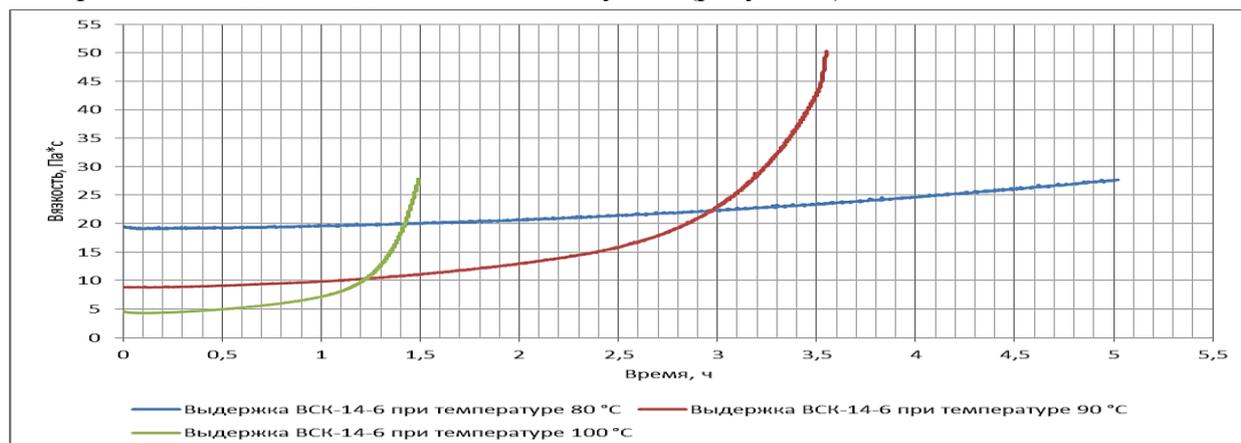


Рисунок 2 – Характер изменения динамической вязкости клевого связующего ВСК-14-6 в зависимости от времени выдержки при различных температурах

Проведено исследование методов создания препрегов на основе связующего марки ВСК-14-6, обладающего теплостойкостью 80 °С на специализированном оборудовании: КМКУ-6.80.Ст-11088 с применением углеродной однонаправленной лентой Ст-11088; КМКУ-6.80.УВ с применением углеродного жгута УВ-12К; КМКС-6.80.Т60(ВМП) с применением стеклоткани Т-60(ВМП) для изготовления полимерных композиционных материалов высокого качества (без дефектов - перетяжек, расхождений волокон), с целью обеспечения отклонения объемной доли связующего в составе препрега не более 2% от номинального значения.

Выбраны режимы, при которых получали препреги с отклонением содержания клевого связующего ± 2 %. Данная технология позволяет изготавливать клеевые препреги с нанесением связующего 38 – 42 % для изготовления монолитных конструкций и 58 – 62 % для изготовления сотовых конструкций.

Автоклавным методом формования из разработанных клеевых препрегов были изготовлены экспериментальные образцы ПКМ и исследованы их основные свойства (таблица 2, 3).

Таблица 2 – Основные свойства экспериментальных образцов углепластиков в сравнении с аналогами (средние значения) при 20 °С со схемой армирования [0]

Наименование материала	Прочность при растяжении, МПа	Прочность при сжатии, МПа
Разрабатываемый материал		
Углепластик на основе клевого препрега из углеродного жгута УВ-12К	2430	925
Углепластик на основе клевого препрега из углеродной ленты Ст-11088	2030	690
Аналоги		
Углепластик на основе препрега HexPly M26/M26T/45%/G1070	790	900
Углепластик на основе клевого препрега КМКУ-6.80.Э0,1	910	799

Установлено, что прочность экспериментальных образцов углепластика, изготовленных на основе клеевого связующего ВСК-14-6 и углеродных наполнителей - углеродной ленты Ст-11088 и углеродного жгута УВ-12К, превышает прочность при растяжении более чем в два раза зарубежный аналог - углепластик на основе препрега HexPly M26/M26T/45%/G1070 и разработанный ранее углепластик на основе клеевого препрега марки КМКУ-6.80.Э0,1. В связи с тем что для изготовления углеродной ленты Ст-11088 используется недоступный в настоящий период времени углеродный жгут марки НТС45 использование данной ленты при дальнейшей разработке углепластика нецелесообразно.

Таблица 3 – Свойства экспериментальных образцов стеклопластика в сравнении с аналогами (средние значения) при 20 °С со схемой армирования [0]

Наименование материала	Прочность при растяжении, МПа	Прочность при сжатии, МПа
Разрабатываемый материал		
Стеклопластик на основе клеевого препрега из стеклоткани Т-60/2(ВМП)-14	1400	950
Аналоги		
Стеклопластик на основе клеевого препрега КМКС-6.80.Т10 из стеклоткани Т-10-80	615	585
Стеклопластика на основе препрега HexPly M26/M26T/50%/7581	410	520

Установлено, что экспериментальный стеклопластик обладает более чем в три раза большей прочностью при растяжении, чем зарубежный аналог – стеклопластик на основе препрега HexPly M26/M26T/50%/7581 и вдвое большую прочность при растяжении по сравнению с ранее разработанным клеевым препрегом стеклопластика марки КМКС-6.80.Т10 на основе стеклоткани Т-10-80.

При помощи математического метода моделирования, подтвержденного методом ДСК, были определены сценарии реакций отверждения, количественные и качественные характеристики этапов отверждения. Были получены данные о реакциях: коэффициенты предэкспоненциального множителя, энергия активации, коэффициент автоускорения. Результаты вычислений отражены на рисунках 3 и 4.

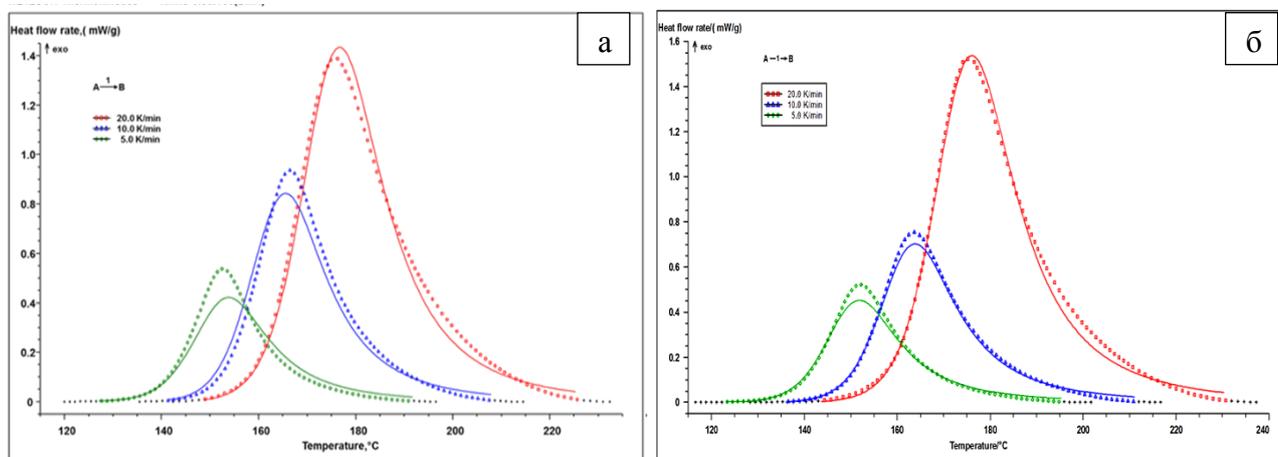


Рисунок 3 – Кривые ДСК эксперимент (точки) и расчет (сплошная линия) реакции отверждения образцов препрегов углепластика марки: а - КМКС-6.80.Т60(ВМП).37, б - КМКУ-6.80.УВ.45

В таблице 4 приведены кинетические параметры отверждения препрегов углепластика марки КМКУ-6.80.УВ.45 и препрега стеклопластика марки КМКС-6.80.Т60(ВМП).37.

Таблица 4 – Кинетические параметры реакции отверждения образцов препрега углепластика и стеклопластика

Показатели, размерность	Значения для клевого препрега марки	
	КМКУ-6.80. УВ.45	КМКС-6.80. Т60(ВМП).37
Предэкспоненциальный множитель A_1 , c^{-1} , $\log(A_1, c^{-1})$	18,02	18,35
Энергия активации E_1 , кДж/моль	83,11	83,76
Порядок реакции n_1	1	1

На основании таблицы 4 можно констатировать, что на поведение механизма отверждения клевого связующего марки ВСК-14-6 углеродный и стеклянный наполнитель влияния не оказывает.

На основе полученных математических моделей процесса отверждения образцов препрега проведено моделирование трехступенчатого температурно-временного режима отверждения клевого препрега КМКУ-6.80.УВ.45 (рисунок 4).

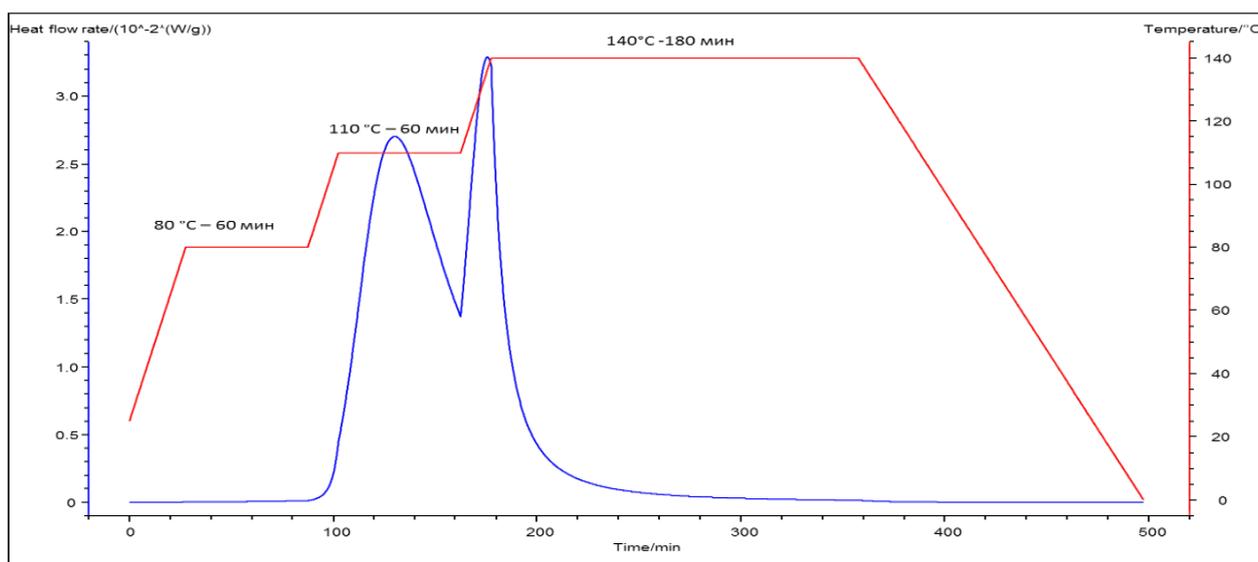


Рисунок 4 – Процесс тепловыделения ДН реакции отверждения клевого связующего марки ВСК-14-6 в препреге углепластика марки КМКУ-6.80.УВ.45

Процесс отверждения эпоксидной матрицы в составе клевого препрега углепластика марки КМКУ-6.80.УВ.45 следует выполнять в три этапа. На первом этапе происходит перераспределение клевого связующего по объему полимерного композитного материала вследствие снижения вязкости связующего. Второй этап препятствует активному химическому процессу отверждения связующего, что и позволяет не допустить его саморазогрева при формировании пространственно-сшитой структуры матрицы ПКМ по всей толщине материала. Окончательное отверждения композиционного материала происходит во время выдержки при максимальной температуре (140 °C) в течение 180 минут.

Методом ДСК была определена степень отверждения. Степень отверждения клевого препрега марки КМКУ-6.80.УВ.45 достигает 99,7 % (рисунок 5).

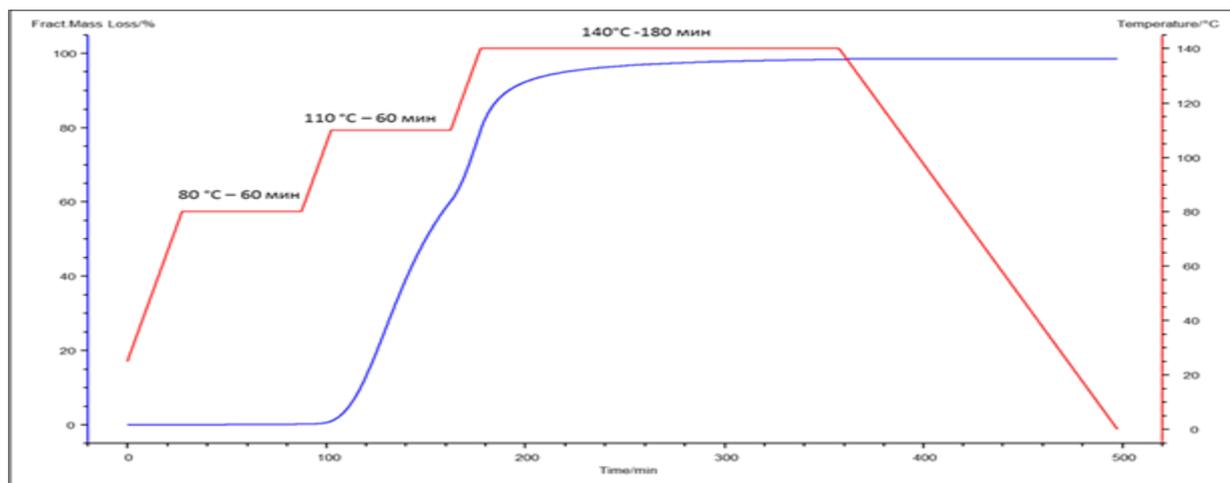


Рисунок 5 – Степень отверждения клеевого связующего марки ВСК-14-6 в препреге углепластика марки КМКУ-6.80.УВ.45

Данный режим применим для получения ПКМ, в том числе толстостенных панелей, с толщиной до 12 мм. В случае получения деталей свыше 12 мм необходима корректировка технологического режима отверждения с увеличением времени выдержки, которое затрачивается на прогрев внутренних слоев детали.

Ввиду того, что активного химического влияния на протекание процесса отверждения клеевого связующего марки ВСК-14-6 углеродный и стеклянный наполнитель не оказывает, разработанный режим отверждения полимерной матрицы может быть также применен при отверждении клеевых препрегов стеклопластика марки КМКС-6.80.Т60(ВМП).37.

При использовании клеевых препрегов с увеличенным содержанием клеевого связующего ВСК-14-6 следует учитывать повышенную текучесть связующего, проявляющуюся в процессе его отверждения. Проведено исследование влияния режима отверждения на прочность клеевого соединения на равномерный отрыв отвержденной обшивки от сотового заполнителя. Результаты испытаний представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты испытаний на равномерный отрыв обшивки из клеевых препрегов КМКУ-6.80.УВ.65 и КМКС-6.80.Т60(ВМП).55 от сотового заполнителя

Наименование характеристики, НД	Режим отверждения		Марка клеевого препрега	
	Температура, °C	Время, мин	КМКУ-6.80.УВ.65	КМКС-6.80.Т60(ВМП).55
Предел прочности при отрыве обшивки от сотового заполнителя, $\sigma_{отр}$, МПа ГОСТ 14760-69	80 ± 5;	60 ± 5	2,8	3,7
	110 ± 5	60 ± 5		
	140 ± 5	180 ± 5		
	80 ± 5	60 ± 5	5,9	7,0
140 ± 5	180 ± 5			

Установлено, что при формировании сотовой конструкции из клеевых препрегов с увеличенным содержанием связующего по трехступенчатому режиму, разработанному для монолитных конструкций и исключающему саморазогрев связующего в процессе отверждения, наличие второй технологической ступени при температуре (110 ± 5) °C в течение (60 ± 5) минут приводит к стеканию связующего марки ВСК-14-6 по стенкам сотового заполнителя. За счет этого происходит уменьшение площади склеивания и снижение прочности клеевого соединения. В связи с этим, процесс формирования сотовых конструкций следует проводить в две стадии, в ходе которого на первой стадии при температуре (80 ± 5) °C

в течение (60 ± 5) минут за счет термоусадки связующего происходит его натек на торцах сот с образованием качественных галтелей, а на второй стадии формования сотовой конструкции при температуре $140 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение (180 ± 5) минут достигается полное отверждение связующего.

На основании проведенных исследований разработаны полимерные композиционные материалы: углепластик марки ВКУ-59 на основе клеевого препрега марки КМКУ-6.80.УВ; стеклопластик марки ВПС-68 на основе клеевого препрега марки КМКС-6.80.Т60(ВМП).

На рисунках 6 – 8 приведены изображения торцевой и поперечной микроструктуры углепластика ВКУ-59: общего вида структуры углепластика марки ВКУ-59 (рисунки 6а - 8), строения граничного слоя волокно-матрица (рисунок 6б). На микрофотографиях четко видна структура волокна и связующего.

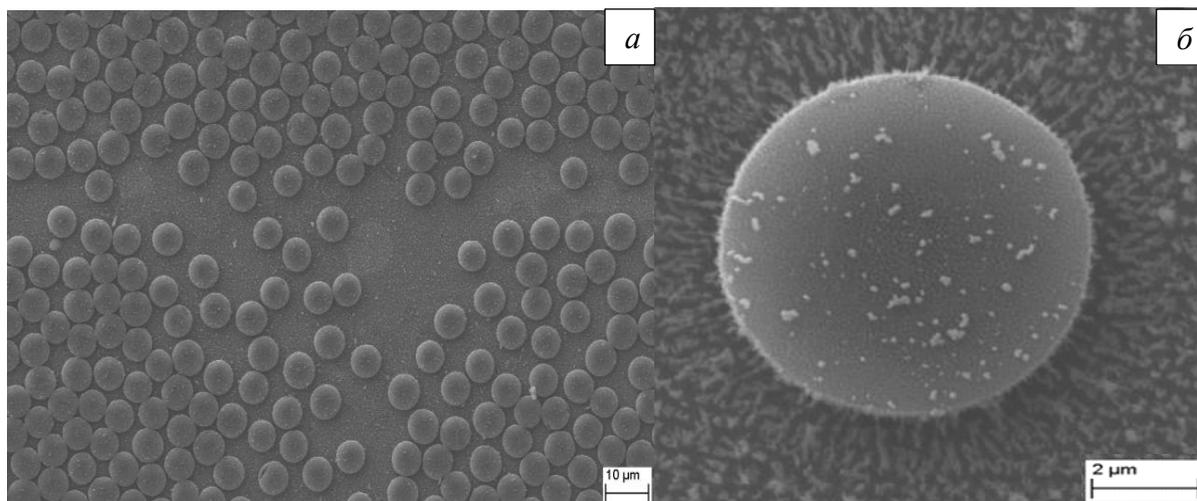


Рисунок 6 – Микроструктура углепластика марки ВКУ-59: а) общий вид, увеличение $\times 2000$; б) строение граничного слоя волокно-матрица, увеличение $\times 15000$

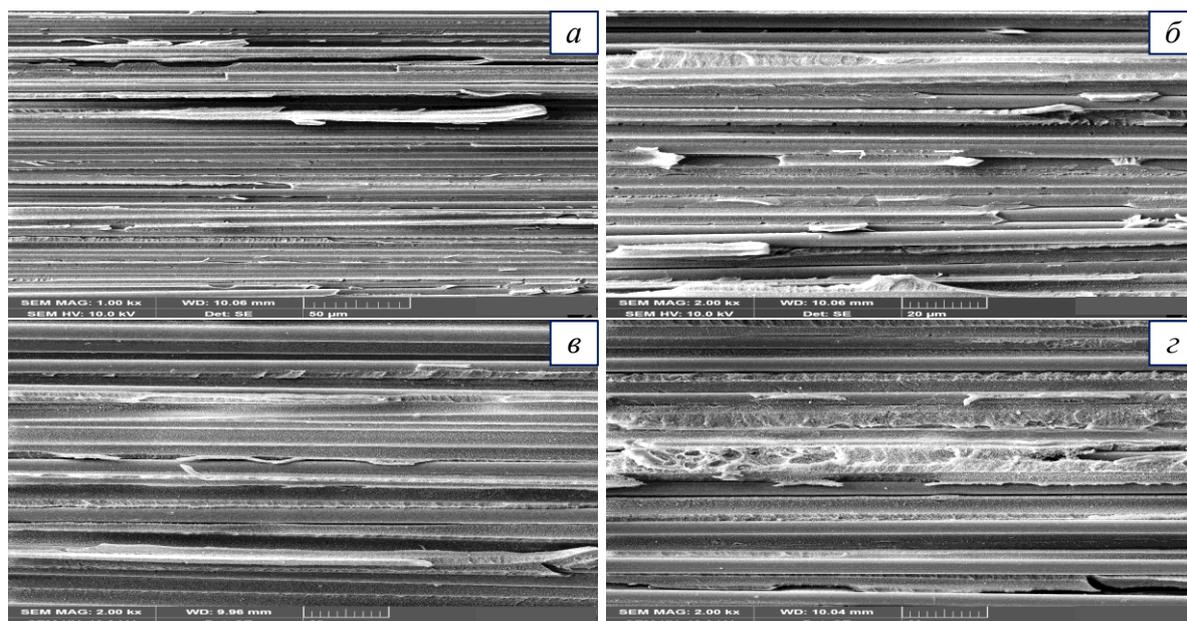


Рисунок 7 – Микроструктура поверхности углепластика марки ВКУ-59: а) $\times 1000$; б-г) $\times 2000$

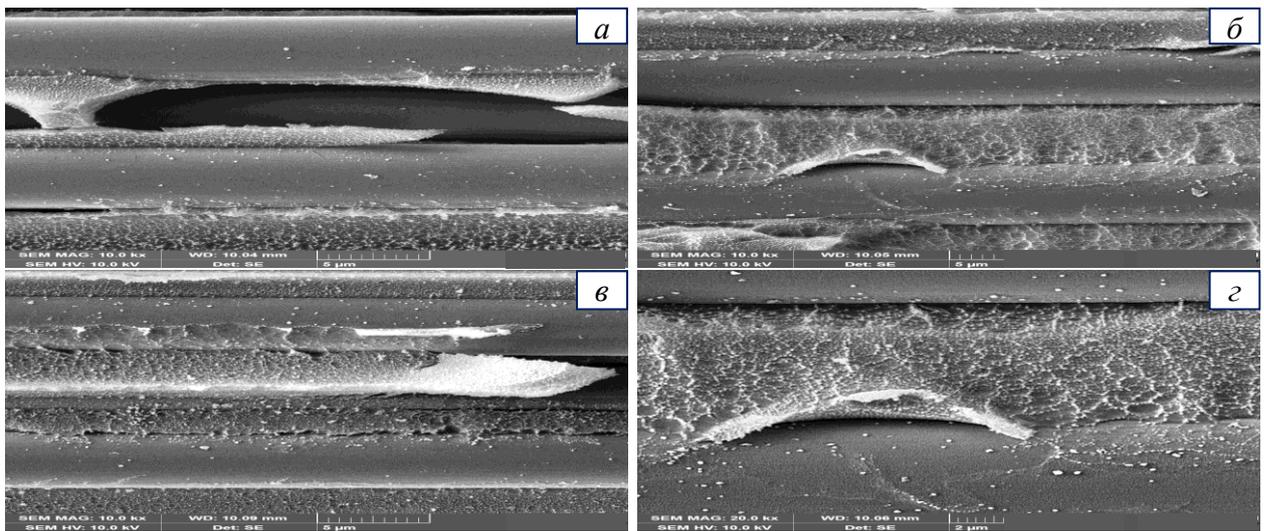


Рисунок 8 – Микроструктура поверхности углепластика марки ВКУ-59: а, б) x10000; в) x10000; г) x20000

Между моноволокном и связующим имеется четкая граница раздела, при этом структура приграничного слоя (~ 1 мкм) отличается от структуры связующего в массе (рисунок 10). Структура приграничного слоя ориентирована; она имеет разную толщину, которая, определяется поверхностной энергией моноволокна.

На рисунках 9 – 11 приведены изображения торцевой и поперечной микроструктуры стеклопластика ВПС-68: общего вида структуры стеклопластика марки ВПС-68 (рисунки 9а - 11), строения граничного слоя волокно-матрица (рисунок 9б).

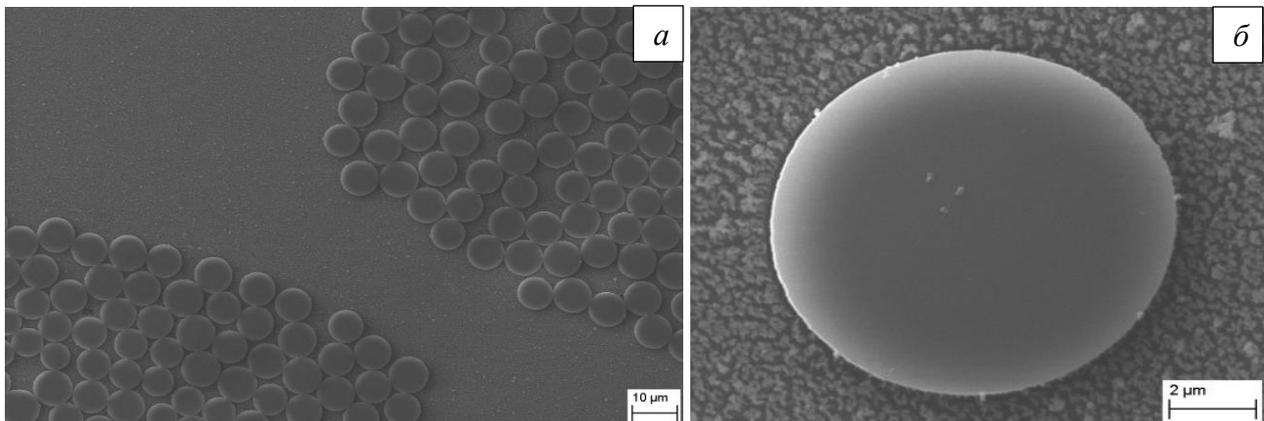


Рисунок 9 – Микроструктура стеклопластика марки ВПС-68: а) общий вид, увеличение ×2000, б) строение граничного слоя волокно-матрица, увеличение, ×15000

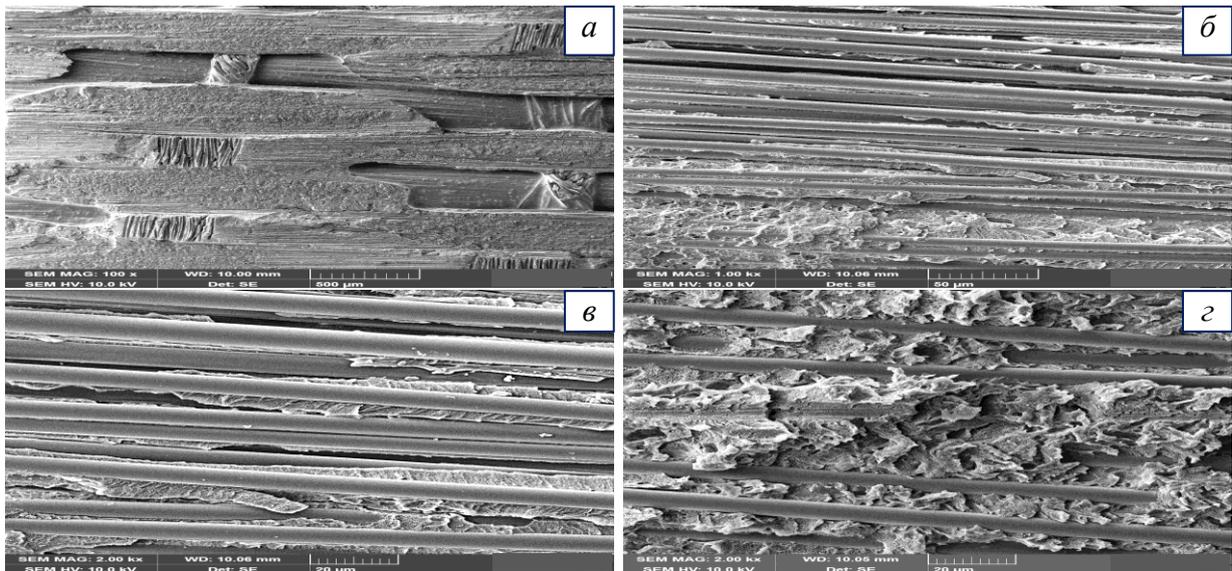


Рисунок 10 – Микроструктура поверхности стеклопластика марки ВПС-68: а) x100; б) x1000; в,г) x2000

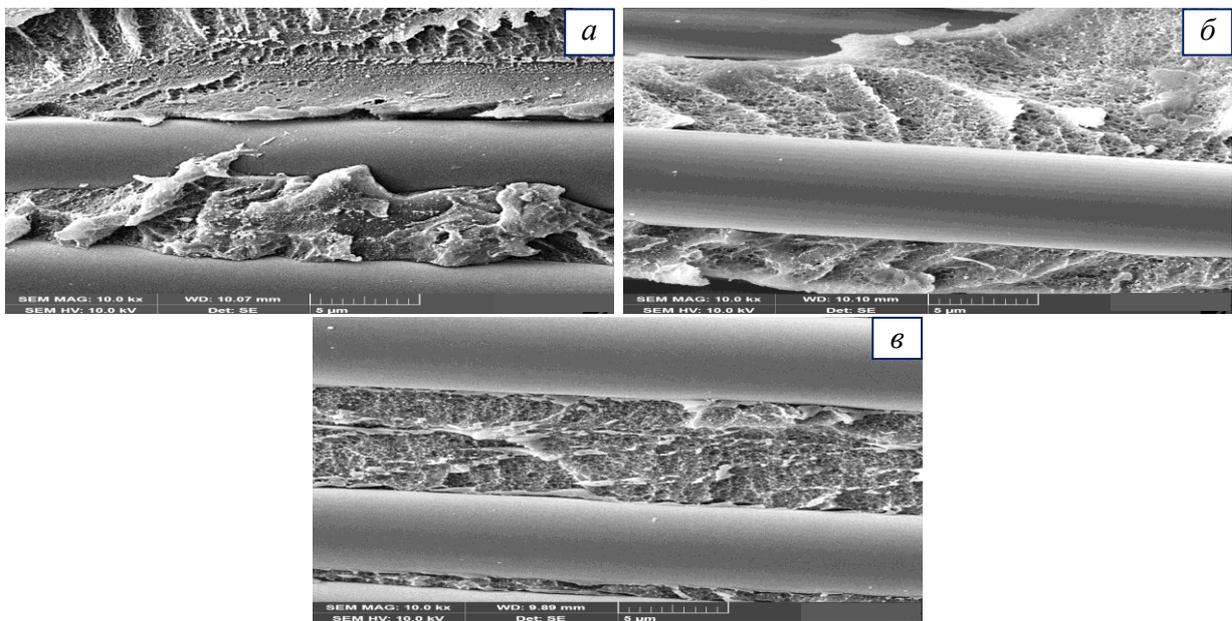


Рисунок 11 – Микроструктура поверхности стеклопластика ВПС-68, x10000

Структура связующего ВСК-14-6, удаленного от поверхности угле- и стекловолокна, далее, чем на 1 мкм, равномерна. Исследования микроструктуры показали, что в ней полностью отсутствуют микродефекты (поры, воздушные включения и др.).

Значимым различием строения граничного слоя волокно-матрица в углепластике и стеклопластике является наличие выраженных радиально ориентированных образований микродисперсной фазы в граничном слое в углепластике.

Микроструктура стекло-, углепластика, представленная на рисунках 6а и 9а, подтверждает ранее сделанный вывод о высокой проникающей способности связующего ВСК-14-6 и его способности заполнять пространство между моноволокнами наполнителя размером меньше 1 мкм, благодаря чему формируется композиционный материал, который

обладает бездефектной структурой, высоким качеством с минимальным разбросом механических характеристик.

По результатам испытаний углепластика марки ВКУ-59 и стеклопластика марки ВПС-68, а также сотовых конструкций на их основе на горючесть установлено полное соответствие требованиям АП-25 Приложение F часть I п.(а)(1)(i). Результаты испытаний представлены в таблицах 6 – 8.

Таблица 6 – Результаты испытаний углепластика марки ВКУ-59 и стеклопластика марки ВПС-68 на горючесть в вертикальном положении

Марки материала	Толщина образца, мм	Продолжительность экспозиции пламенем горелки, с	Продолжительность остаточного горения (среднее), с	Длина обугливания (среднее), мм	Продолжительность горения капель, с
ВКУ-59	1,11	60	0	56,3	0 (нет капель)
	2,10		2,3	59,0	0 (нет капель)
	3,99		1,0	39,0	0 (нет капель)
ВПС-68	1,23	60	0	72,0	0 (нет капель)
	2,28		1,6	53,3	0 (нет капель)
	4,18		0,6	46,3	0 (нет капель)
АП-25 Приложение F часть I (а)(1)(i), не более			15	152	3

Таблица 7 – Результаты испытаний образцов трехслойных сотовых конструкций панелей пола с обшивками из углепластика марки ВКУ-59 и стеклопластика марки ВПС-68 на горючесть в вертикальном положении

Материал	Толщина образца, мм	Продолжительность экспозиции пламенем горелки, с	Продолжительность остаточного горения, с	Длина обугливания, мм	Продолжительность горения капель, с
Трехслойная сотовая панель с обшивкой из углепластика ВКУ-59	10,28	60	0	9	0 (нет капель)
Трехслойная сотовая панель с обшивкой из стеклопластика ВПС-68	10,06	60	0	84	0 (нет капель)
АП-25 Приложение F часть I (а)(1)(i), не более			15	152	3

Таблица 8 – Результаты испытаний образцов трехслойных сотовых конструкций панелей пола с обшивками из углепластика марки ВКУ-59 и стеклопластика марки ВПС-68 на горючесть под углом 45° к горизонту

Материал	Толщина образца, мм	Продолжительность экспозиции пламенем горелки, с	Продолжительность остаточного горения, с	Продолжительность остаточного тления, с
Трехслойная сотовая панель с обшивкой из углепластика ВКУ-59	9,94	30	2	0 (нет капель)
Трехслойная сотовая панель с обшивкой из стеклопластика ВПС-68	10,78	30	0	0 (нет капель)
АП-25 Приложение F часть I (а)(1)(i), не более			15	3

Из результатов испытаний стекло-, углепластика и трехслойных сотовых панелей пола с обшивками на их основе на дымообразование установлено, что данные материалы и конструктивный элемент на их основе обладают высокой дымообразующей способностью, однако согласно требованиям государственных авиационных норм, это не является препятствием для применения трехслойных сотовых панелей данного состава в качестве панелей пола в пассажирской кабине, а также панелей пола, стен и потолка в грузовых и багажных отсеках.

Токсичность продуктов горения полимерных материалов в настоящее время в государственных авиационных нормах не регламентируется. Результаты испытаний на токсичность продуктов, выделяемых в процессе горения трехслойных сотовых конструкций, показали соответствие требованиям, установленным в ведущих мировых авиастроительных корпорациях (Boeing, Airbus, Bombardier).

Для определения устойчивости углепластика марки ВКУ-59, а также клеевых соединений углепластика марки ВКУ-59 на основе клеевого препрега марки КМКУ-6.80.УВ.65, к воздействию внешних факторов проведены исследования прочности образцов из углепластика с незащищенными торцами со схемой армирования $[0/-45/90/+45]_{4s}$ при изгибе и сжатии по после воздействия внешних факторов имитирующих эксплуатационные: экспозиция в камере тропического климата, тепловлажностное и тепловое старение, водо- и влагостойкость и экспозиция в химических сред (масло ИПМ-10 и топливо ТС-1).

Установлено, что углепластик марки ВКУ-59 со схемой армирования $[0/-45/90/+45]_{4s}$ после воздействия внешних факторов демонстрирует высокий уровень сохранения упруго-прочностных свойств при изгибе (при 20 °С в интервале 79,6 – 103,8 %, при 80 °С в интервале 71,5 – 102,3 %) и сжатии (при 20 °С в интервале 83,6 – 91,6 %, при 80 °С в интервале 80,2 – 99,1 %) относительно исходных значений. Отмечено, что экспозиция образцов углепластика марки ВКУ-59 с незащищенными торцами в влагонасыщенных условиях (камера тропического климата, водо- и влагостойкость) приводит к снижению уровня прочностных показателей. Данное снижение прочности образцов из ПКМ вероятно обусловлено сорбцией воды в межволоконном пространстве монофиламентов материала.

Клеевые соединения углепластика ВКУ-59 из клеевого препрега марки КМКУ-6.80.УВ.65 после воздействия внешних факторов демонстрируют высокий уровень сохранения прочностных характеристик. Уровень сохранения прочности при сдвиге при 20 °С находится в интервале 68,4 – 118,8 %, при 80 °С в интервале 66,0 – 119,3 %. Уровень сохранения прочности при отрыве обшивки от сотового заполнителя при 20 °С в интервале 94,7 – 110,5 %, при 80 °С в интервале 97,9 – 112,7 %.

Для определения устойчивости стеклопластика марки ВПС-68, а также клеевых соединений стеклопластика ВПС-68 из клеевого препрега марки КМКС-6.80.Т60(ВМП).55, к воздействию внешних факторов проведены исследования прочности образцов из стеклопластика со схемой армирования $[0]_{13}$ с незащищенными торцами при изгибе и сжатии по после воздействия внешних факторов имитирующих эксплуатационные: экспозиция в камере тропического климата, тепловлажностное и тепловое старение, водо- и влагостойкость и экспозиция в химических сред (масло ИПМ-10 и топливо ТС-1).

Установлено, что стеклопластик марки ВПС-68 с схемой армирования [0] после воздействия внешних факторов демонстрирует высокий уровень сохранения упруго-прочностных свойств при изгибе (при 20 °С в интервале 81,2 – 104,5 %, при 80 °С в интервале 69,8 – 105,8 %) и сжатии (при 20 °С в интервале 68,7 – 88,2 %, при 80 °С в интервале 70,1 – 103,4 %) относительно исходных значений. Отмечено, что экспозиция образцов стеклопластика марки ВПС-68 с незащищенными торцами в влагонасыщенных условиях (камера тропического климата, водо- и влагостойкость) приводит к снижению уровня прочностных показателей в большей степени чем у углепластика марки ВКУ-59. Данное снижение прочности образцов из ПКМ вероятно обусловлено более интенсивной сорбцией воды в межволоконном пространстве монофиламентов материала.

Клеевые соединения стеклопластика ВПС-68 из клеевого препрега марки КМКС-6.80.Т60(ВМП).55 после воздействия климатических факторов демонстрируют высокий уровень сохранения прочностных характеристик. Уровень сохранения прочности при сдвиге при 20 °С в интервале 71,3 – 106,3 %, при 80 °С в интервале 81,7 – 107,6 %. Уровень сохранения прочности при отрыве обшивки от сотового заполнителя при 20 °С в интервале 88,4 – 94,2 %, при 80 °С в интервале 94,5 – 118,2%.

Четвёртая глава посвящена разработке технологий изготовления клееных конструкций с применением разработанных ПКМ и разделена на два раздела.

Первый раздел посвящен разработке технологии изготовления и исследования свойств конструктивно-подобных образцов панелей пола трехслойной сотовой конструкции.

Прессовым методом формования по двухступенчатому режиму были изготовлены конструктивно-подобные образцы (КПО) панелей пола трехслойной сотовой конструкции с обшивками из углепластика марки ВКУ-59 (с каждой стороны 1 слой КМКУ-6.80.УВ.65 к сотовому заполнителю и 1 слой КМКУ-6.80.УВ.45 с внешней стороны) и стеклопластика марки ВПС-68 (с каждой стороны 1 слой КМКС-6.80.Т60(ВМП).55 к сотовому заполнителю и 1 слой КМКС-6.80.Т60(ВМП).37 с внешней стороны) (рисунок 12) и определены основные физико-механические свойства конструкций панелей пола.

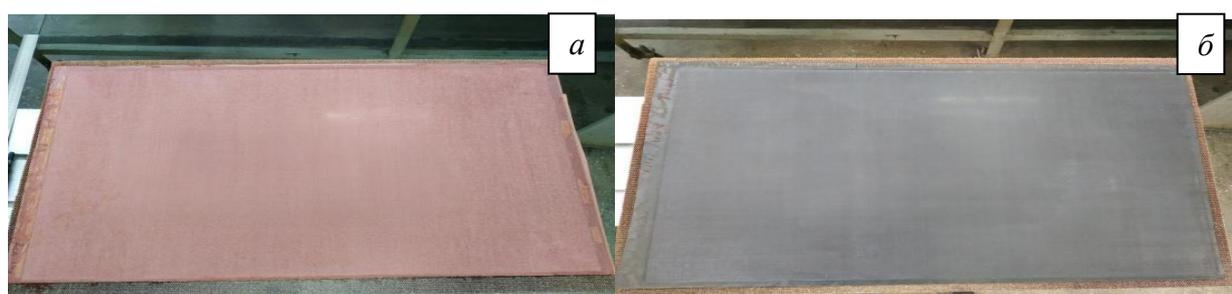
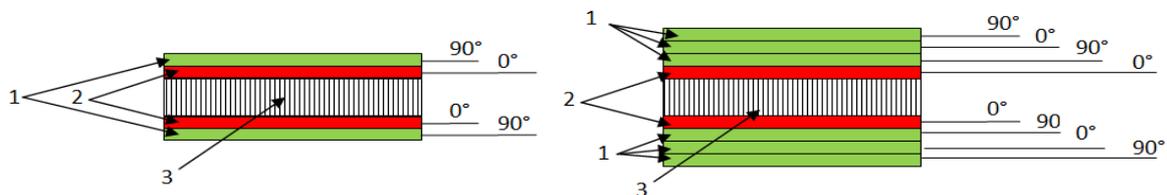


Рисунок 12 – Внешний вид изготовленных КПО трехслойной сотовой конструкции (панелей): а – с обшивкой из клеевого препрега марки КМКС-6.80.Т60(ВМП); б – с обшивкой из клеевого препрега марки КМКУ-6.80.УВ

По результатам испытаний установлено, что разрушающая нагрузка при 4-х точечном изгибе образцов при 20°С составила от 1340 до 2775 Н, разрушающая нагрузка при 3-х точечном изгибе при 20°С – от 3590 до 4680 Н. Прочность при сжатии трехслойных сотовых панелей при 20°С (от 5,7 до 14,1 МПа) обусловлена прочностью сотозаполнителя. Установлено, что усилие отслаивания обшивки от сотового заполнителя при 20°С составило

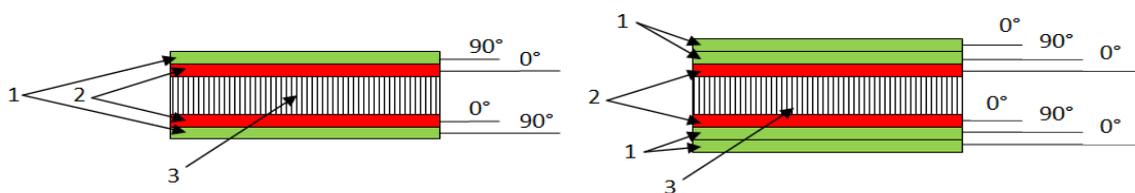
от 121 до 450 Н/76мм.

По двухступенчатому режиму были изготовлены КПО, представляющие собой заготовки панелей пола (ЗПП) трехслойной сотовой конструкции с обшивками из углепластика марки ВКУ-59 и стеклопластика марки ВПС-68 четырех типов с применением сотового заполнителя марки ССП-1 (рисунок 13, 14).



1 - КМКУ-6.80.УВ.45; 2 - КМКУ-6.80.УВ.65; 3 – сотовый заполнитель

Рисунок 13 – Схема выкладки трехслойной сотовой конструкции из клеевых препрегов марки КМКУ-6.80.УВ



1 - КМКС-6.80.Т60.37; 2 - КМКС-6.80.Т60.55; 3 – сотовый заполнитель марки

Рисунок 14 – Схема выкладки трехслойной сотовой конструкции из клеевых препрегов марки КМКС-6.80.Т60(ВМП)

Из полученных КПО трехслойной сотовой конструкции были вырезаны образцы для определения основных свойств конструкций панелей пола. По результатам анализа установлено, что разработанные конструкции панелей пола по показателям разрушающей нагрузки при 3-х точечном изгибе, усилию отслаивания обшивки от сотового заполнителя, а также массы 1 м² сотовой конструкции находятся на уровне или превышают отечественные и зарубежные аналоги, но несколько уступают по показателю прочности при сжатии трехслойной сотовой конструкции.

Сравнительная оценка КПО трехслойных сотовых конструкций панелей пола с обшивками из клеевых угле- и стеклопластиков на основе связующего марки ВСК-14-6 в сопоставлении с существующими панелями пола изделий Ил-114, Ил-96, Ту-204, Ту-214 показала их высокую весовую эффективность (масса 1 м² панелей пола 2,5–3,6 кг вместо 2,5–5,2 кг).

По разработанной технологии изготовления трехслойных сотовых конструкций с применением разработанных клеевых препрегов на основе связующего ВСК-14-6, а также путем комбинирования слоев клеевых препрегов доказана возможность создания конструкций панелей пола, по уровню свойств не уступающих отечественным и мировым аналогам.

Второй раздел посвящен разработке технологии изготовления и исследования толстостенной панели из углепластика марки ВКУ-59.

С использованием разработанного трехступенчатого режима была изготовлена толстостенная панель толщиной 12 мм, которая представляла собой пакет, который с помощью антиадгезионной пленки был разделен на элементарные панели (Рисунок 15).

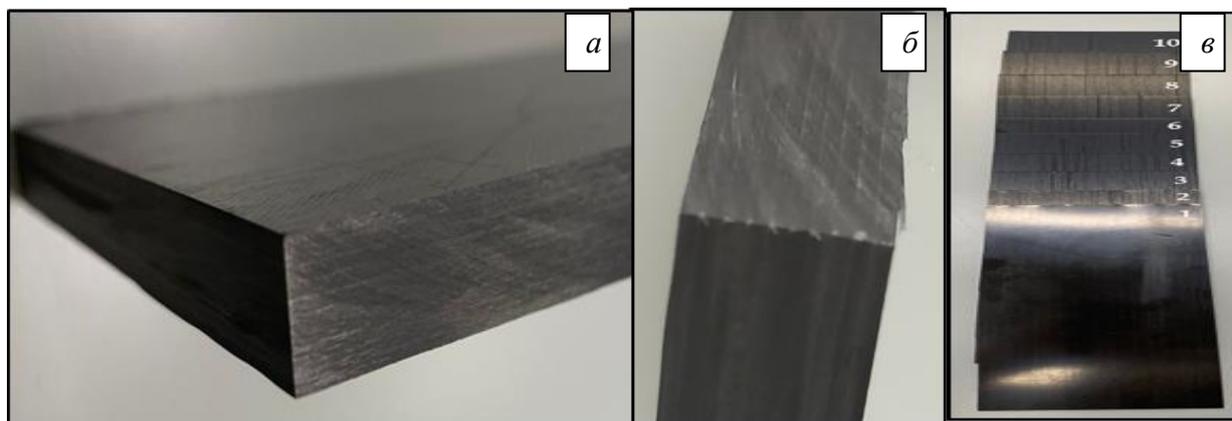


Рисунок 15 – Толстостенная панель из углепластика ВКУ-59: а-б) вид сбоку, в) элементарные панели

По результатам ДСК анализа установлено, что степень отверждения клевого связующего ВСК-14-6 в составе всех элементарных панелей углепластика ВКУ-59 составила 99,9%. Остаточный тепловой эффект не выявлен, что свидетельствует о полном отверждении всех слоев в составе толстостенной панели.

Определена прочность элементарных панелей из углепластика ВКУ-59 при испытаниях на растяжение (рисунок 16).

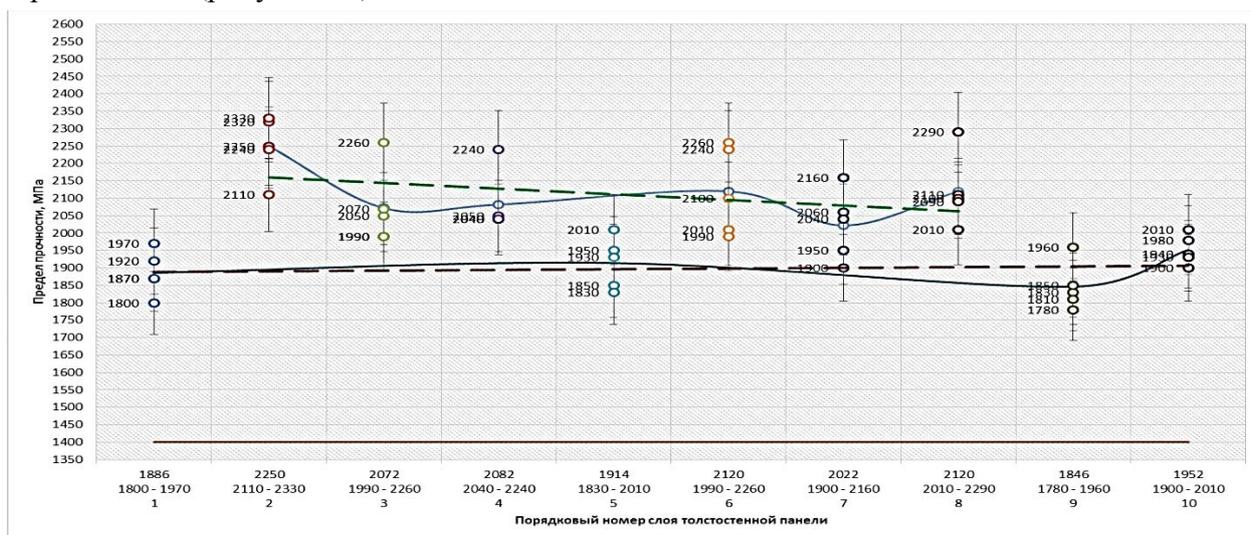


Рисунок 16 – Прочность при растяжении внутренних и внешних элементарных панелей из углепластика марки ВКУ-59 в составе толстостенной конструкции

Установлено, что в составе толстостенной панели средние слои имеют прочность при растяжении, которая на 211 МПа выше прочности внешних слоев. Данный эффект, по-видимому, обусловлен следующим. Процесс автоклавного формования толстостенной панели сопровождается перераспределением связующего в объеме материала с оттоком связующего от средних слоев к внешним, за счет чего средние слои толстостенной панели характеризуются меньшим содержанием связующего, а внешние слои - увеличенным содержанием и, как следствие, толстостенная панель имеет повышенную прочность при растяжении средних слоев и пониженную прочность при растяжении внешних слоев.

Так как саморазогрев и, как следствие, деструкция полимерной основы клеевого препрега углепластика при отверждении монолитной конструкции по трехступенчатому температурно-временному режиму исключена, достигается равномерное отверждения материала по всей толщине, что обеспечивает минимальный разброс его характеристик.

Пятая глава посвящена изложению практической реализации полученных в работе результатов.

1. Разработана технология изготовления клеевого препрега КМКУ-6.80.УВ углепластика марки ВКУ-59 на основе клеевого связующего пониженной горючести марки ВСК-14-6 с теплостойкостью 80°C и углеродного жгутового наполнителя марки УВ-12К и оформлена следующая документация: ТИ 1.595-11-1173-2018, ТУ 1-595-11-1775-2018, ТУ 1-595-УНТЦ-1930-2021 «Заготовки панелей пола из полимерных композиционных материалов». Оформлен паспорт № 1994 на углепластик ВКУ-59.

2. Разработана технология изготовления клеевого препрега КМКС-6.80.Т60(ВМП) марки ВПС-68 на основе клеевого связующего пониженной горючести марки ВСК-14-6 с теплостойкостью 80°C и стеклоткани Т-60/2(ВМП) и оформлена следующая документация: ТИ 1.595-11-1174-2018, ТУ 1-595-11-1776-2018. Оформлен паспорт № 1995 на стеклопластик ВПС-68.

3. Разработана технология изготовления монолитных и трехслойных сотовых конструкций панелей пола с обшивками из клеевых препрегов и оформлена ТР 1.2.2757-2019 «Изготовление монолитных и трехслойных сотовых конструкций панелей пола с обшивками из клеевых угле- и стеклопрепрегов на основе клеевого связующего марки ВСК-14-6».

4. Организован серийный выпуск разработанных клеевых препрегов на сертифицированном производстве НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ.

5. Оформлено Решение № 11424-0182-143 об организации изготовления и поставки трехслойных сотовых заготовок панелей пола из полимерных композиционных материалов (углепластик марки ВКУ-59 и стеклопластик марки ВПС-68) производства НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ.

6. Углепластик марки ВКУ-59 и стеклопластик марки ВПС-68 внесены в конструкторскую документацию самолетов Ил-114-300 и Ил-76МД-90А для изготовления заготовок панелей пола на основе разработанных материалов.

Основные выводы

1. Обоснован выбор связующего пониженной горючести марки ВСК-14-6 с теплостойкостью 80°C, угле- и стеклонаполнителей для применения в составе клеевых препрегов. На основании результатов исследования реологических характеристик клеевого связующего марки ВСК-14-6 выявлены оптимальные температурно-временные параметры, необходимые для переработки связующего ВСК-14-6 в клеевой препрег. Разработаны составы и технология изготовления клеевых препрегов из клеевого связующего пониженной горючести ВСК-14-6 и стекло-, угленаполнителей.

2. На основании результатов исследования кинетики реакций отверждения клеевых препрегов установлены условия формирования оптимальной структуры полимерных композиционных материалов (угле- и стеклопластика) в процессе отверждения клеевого связующего в составе клеевого препрега, что подтверждено результатами исследования структуры разработанных ПКМ методом растровой электронной микроскопии.

3. Установлено, что углепластик марки ВКУ-59 и стеклопластик марки ВПС-68, а также трехслойные сотовые конструкции с обшивками на их основе полностью соответствуют требованиям авиационных норм по горючести. На основании результатов испытаний стекло-, углепластика и трехслойной панели на дымообразование установлено, что данные материалы и конструктивные элементы на их основе обладают высокой дымообразующей способностью, однако согласно требованиям государственных авиационных норм материал может быть допущен для применения в составе трехслойных сотовых для следующего назначения: в качестве панелей пола в пассажирской кабине, а также панелей пола в багажных отсеках. Результаты испытаний на токсичность продуктов, выделяемых в процессе горения трехслойных сотовых конструкций панелей пола, показали соответствие требованиям к панелям пола, установленным в ведущих мировых авиастроительных корпорациях (Boeing, Airbus).

4. Определен характер изменения свойств углепластика ВКУ-59 при воздействии внешних факторов. Уровень сохранения упруго-прочностных свойств при температуре 20 °С находится в интервале 79,6 – 103,8 %, при температуре 80 °С находится в интервале 71,5 – 102,3 % относительно исходных значений. Уровень сохранения прочностных свойств при сдвиге клеевых соединений при температуре 20 °С находится в интервале 68,4 – 118,8 %, при температуре 80 °С находится в интервале 66,0 – 119,3 % относительно исходных значений. Уровень сохранения прочностных свойств при отрыве обшивки от сотового заполнителя при температуре 20 °С находится в интервале 94,7 – 110,5 %, при температуре 80 °С находится в интервале 97,9 – 112,7 % относительно исходных значений.

5. Определен характер изменения свойств стеклопластика марки ВПС-68 при воздействии внешних факторов. Уровень сохранения упруго-прочностных свойств при температуре 20 °С находится в интервале 68,7 – 104,5 %, при температуре 80 °С находится в интервале 69,8 – 105,8 % относительно исходных значений. Уровень сохранения прочностных свойств при сдвиге клеевых соединений при температуре 20 °С находится в интервале 71,3 – 106,3 %, при температуре 80 °С находится в интервале 81,7 – 107,6 % относительно исходных значений. Уровень сохранения прочностных свойств при отрыве обшивки от сотового заполнителя при температуре 20 °С находится в интервале 88,4 – 94,2 %, при температуре 80 °С находится в интервале 94,5 – 118,2% относительно исходных значений.

6. Разработана технология изготовления и исследованы свойства трехслойных сотовых конструкций пониженной горючести, предназначенных для изготовления высоконагруженных панелей пола. Выявлены технологические особенности двухступенчатого процесса формования трехслойных сотовых конструкций, позволяющих исключить повышенную текучесть клеевого связующего по торцам сотового заполнителя и тем самым обеспечить формирование галтелей связующего требуемой формы, что обеспечивает уровень прочности клеевых соединений, определяющийся прочностью сотового заполнителя.

7. Разработана технология изготовления и исследованы свойства толстостенной конструкции из углепластика марки ВКУ-59. Установлено, что саморазогрев полимерной основы клеевого препрега углепластика при отверждении монолитной толстостенной конструкции по трехступенчатому температурно-временному режиму исключен, достигается

равномерное отверждения материала по всей толщине, что обеспечивает минимальный разброс его характеристик.

Список основных трудов по теме диссертации, опубликованных в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Старков А. И., Куцевич К. Е., Тюменева Т. Ю., Петрова А. П. Клеевые препреги пониженной горючести, предназначенные для изготовления интегральных и трехслойных сотовых конструкций авиационной техники. Труды ВИАМ. электрон. науч.-технич. журн., 2022 № 5 (111), С. 41-52. URL: <http://www.viam-works.ru>. dx.doi.org/ 10.18577/2307-6046-2022-0-5-41-52.
2. Старков А.И., Куцевич К.Е., Петрова А.П., Антюфеева Н.В. К вопросу о выборе температурно-временного режима отверждения препрега углепластика КМКУ-6.80.SYT49(S) на основе клеевого связующего пониженной горючести. Труды ВИАМ.электрон. науч.-технич. журн., 2023 № 3, С. 29-38. URL: <http://www.viam-works.ru>. dx.doi.org/ 10.18577/2307-6046-2023-0-3-29-38.
3. Старков А.И., Исаев А.Ю, Куцевич К.Е. Комплексная оценка воздействия эксплуатационных и климатических испытаний на изменение прочностных свойств полимерных композиционных материалов на основе клеевых препрегов. Часть 1. Углепластик марки ВКУ-59. Труды ВИАМ. электрон. науч.-технич. журн., 2024 № 3, С. 91-100 URL: <http://www.viam-works.ru>. dx.doi.org/ 10.18577/2307-6046-2024-0-3-91-100.
4. Старков А.И., Исаев А.Ю, Куцевич К.Е. Комплексная оценка воздействия эксплуатационных и климатических испытаний на изменение прочностных свойств полимерных композиционных материалов на основе клеевых препрегов. Часть 2. Стеклопластик марки ВПС-68. Труды ВИАМ. электрон. науч.-технич. журн., 2024 № 4, С.98-107. URL: <http://www.viam-works.ru>. dx.doi.org/ 10.18577/2307-6046-2024-0-4-98-107.

Патент:

1. Патент 2676634 Российская Федерация, СПК: С08L 63/00; С08L 9/00; С08J 5/24. Препрег на основе клеевого связующего пониженной горючести и стеклопластик, углепластик на его основе / Каблов Е.Н., Тюменева Т.Ю., Куцевич К.Е., Хина М.Б., Старков А.И., Хайретдинов Р.Х.; заявитель и правообладатель ФГУП «ВИАМ» 2018114527 заявл. 19.04.2018; опубл. 09.01.2019, бюл. № 1.

Публикации, индексируемые базами Web of Science и Scopus:

1. Antyufeeva N.V., Starkov A.I. The influence of the content of halogen-containing oligomer in the composition of VSK-14-6 adhesive binder on the kinetics of the curing process of prepregs on different fillers and a comparative analysis of the curing kinetics of prepregs based on VSK-14-1 adhesive binder // Polymer science, Series D. 2023. Vol. 16, № 4. P. 882-891.

Список основных трудов по теме диссертации, опубликованный в рецензируемых изданиях:

1. Старков А.И., Куцевич К.Е., Тюменева Т.Ю., Комаров В.А. Полимерные композиционные материалы на основе клеевых препрегов пониженной горючести. Клеи. Герметики. Технологии. 2020 № 5 С. 27-32. URL: <http://www.nait.ru>.dx.doi.org/ 10.31044/1813-7008-2020-0-5-27-32.

2. Старков А.И., Куцевич К.Е., Тюменева Т.Ю., Комаров В.А. Полимерные композиционные материалы на основе клеевых препрегов пониженной горючести // Материалы IV Всероссийской научно-технической конференции «Полимерные композиционные материалы и производственные технологии нового поколения». 18 октября 2019 Москва. С.149-162.

3. Старков А.И., Куцевич К.Е., Тюменева Т.Ю., Комаров В.А. Разработка композиционных материалов на основе клеевых препрегов пониженной горючести и требований к механическим характеристикам ПКМ с учетом области применения // Материалы Всероссийской научно-технической конференции «Полимерные композиционные материалы и производственные технологии нового поколения». 21 августа 2020 Москва. С.69-81.

4. Антюфеева Н.В., Старков А.И. Влияние содержания галогеносодержащего олигомера в составе клеевого связующего на кинетику процесса отверждения препрегов // Материалы VI Всероссийской научно-технической конференции «Полимерные композиционные материалы и производственные технологии нового поколения». 18 ноября 2022 Москва. С.198-216.

5. Старков А.И., Куцевич К.Е. Клеевые препреги пониженной горючести // XXIII Международная научно-техническая конференция «Конструкции и технологии получения изделий из неметаллических материалов», 16-18 октября 2024 Обнинск. С. 268-269.

6. Старков А.И., Куцевич К.Е. Пожаробезопасность ПКМ на основе клеевых препрегов // VIII Всероссийская научно-технической конференции «Полимерные композиционные материалы и производственные технологии нового поколения». 15 ноября 2024 Москва. С.6-22.

Автореферат Старков А.И.

«Полимерные композиционные материалы пониженной горючести на основе клеевых препрегов»

Подписано в печать

Формат бумаги 60×90/16. Печ. Л 1,00. Тираж 80 экз.

Отпечатано в типографии НИЦ «Курчатовский институт – ВИАМ
105005, г. Москва, ул. Радио,17