

Научная статья

УДК 678.067.5

DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-12-56-65

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СТЕКЛОПЛАСТИКА РАДИОТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ РАСПЛАВНОГО СВЯЗУЮЩЕГО ВСЭ-1212

А.В. Гамазина¹, А.О. Курносов¹, М.И. Вавилова¹, Н.Р. Кочетов¹

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Москва, Россия; admin@viam.ru

Аннотация. Рассмотрены свойства различных типов стеклянных наполнителей. Описаны основные характеристики расплавно-эпоксидного связующего марки ВСЭ-1212. Приведены результаты исследования смачиваемости волокна кварцевого наполнителя. Исследованы образцы стеклопластика методом ультразвукового контроля. Приведены физико-механические и диэлектрические характеристики стеклопластика марки ВПС-48/7781-14. Исследован разработанный стеклопластик радиотехнического назначения на основе кварцевого наполнителя и расплавно-эпоксидного связующего марки ВСЭ-1212.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, кварцевое волокно, расплавно-эпоксидное связующее, вакуум-автоклавное формование, стеклопластик, упруго-прочностные характеристики, диэлектрические характеристики

Для цитирования: Гамазина А.В., Курносов А.О., Вавилова М.И., Кочетов Н.Р. Исследование свойств стеклопластика радиотехнического назначения на основе расплавно-эпоксидного связующего ВСЭ-1212 // Труды ВИАМ. 2024. № 12 (142). Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-12-56-65.

Scientific article

INVESTIGATION OF FIBERGLASS PROPERTIES BASED ON THE MELT BINDER VSE-1212 FOR RADIO ENGINEERING PURPOSES

A.V. Gamazina¹, A.O. Kurnosov¹, M.I. Vavilova¹, N.R. Kochetov¹

¹Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials» of National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow, Russia; admin@viam.ru

Abstract. The properties of various types of glass filler are considered. The main characteristics of a molten epoxy binder VSE-1212 are described. Studies of the wettability of quartz filler fibers are presented. Fiberglass samples were examined by ultrasonic inspection. The results of the physico-mechanical and dielectric characteristics of fiberglass of the VPS-48/7781-14 are presented. The results of the research of the developed fiberglass for radio engineering purposes based on quartz filler and molten epoxy binder VSE-1212 are presented.

Keywords: polymer composite materials, quartz fiber, molten epoxy binder, vacuum autoclave molding, fiberglass, elastic-strength characteristics, dielectric characteristics

For citation: Gamazina A.V., Kurnosov A.O., Vavilova M.I., Kochetov N.R. Investigation of fiberglass properties based on the melt binder VSE-1212 for radio engineering purposes. *Trudy VIAM*, 2024, no. 12 (142), paper no. 05. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-12-56-65.

Введение

Развитие промышленности определяет необходимость в создании и применении высокотехнологичных изделий из новых материалов с улучшенными свойствами. Важной задачей является разработка новых авиационных материалов, соответствующих современным требованиям и стандартам. Разработанные материалы должны обладать высоким уровнем упруго-прочностных характеристик для обеспечения эксплуатационной стабильности. Кварцевое волокно, которое используется при изготовлении препрега и далее в разработке стеклопластика на его основе, имеет высокие значения прочности, термической стойкости и низкие показатели диэлектрических характеристик. К настоящему времени синтезировано значительное количество связующих на основе эпоксидных олигомеров. Эпоксидные смолы отличаются высокими показателями ударной прочности, твердости и износостойкости. Они обладают значительной температуро- и теплостойкостью. Таким образом, совместив эти составляющие, можно разработать новые виды полимерных композиционных материалов (ПКМ) с широким спектром улучшенных свойств [1–4].

В НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ разработана широкая номенклатура конструкционных и функциональных ПКМ для применения в различных узлах и агрегатах изделий авиационной техники.

В данной статье приведены основные физико-механические и диэлектрические характеристики ПКМ на основе кварцевого наполнителя, который характеризуется низким уровнем диэлектрических свойств, и расплавленного эпоксидного связующего марки ВСЭ-1212, рекомендуемого для применения в авиационной и ракетно-космической технике. Приведены результаты исследований влияния замазливателя (аппрета) кварцевого наполнителя на получение ПКМ с наименьшим содержанием воздушных включений.

Материалы и методы

Стеклопластики – это современные ПКМ, которые занимают лидирующие позиции по объему использования в авиационной и других отраслях промышленности. Они обладают особыми свойствами, которые делают их идеальным материалом для применения в области, где требуется сочетание прочности, легкости и хороших изоляционных характеристик. Они широко используются при производстве средне- и слабонагруженных элементов конструкций, панелей интерьера, конструкций радиотехнического назначения и других деталей для авиационной техники. Выбор конкретного материала зависит от технических требований к конечному изделию, условий эксплуатации и возможностей по их обработке. Для создания деталей и агрегатов с высоким уровнем физико-механических свойств и низкими диэлектрическими характеристиками, необходимыми для конструкций радиотехнического назначения, требуются материалы с минимальными значениями диэлектрической проницаемости.

Стеклопластики обычно создаются путем сочетания стекловолокон и полимеров. Стекловолокно придает материалу прочность и жесткость, в то время как полимеры обеспечивают удобство при обработке и формовке. Применение стеклопластиков позволяет создавать легкие, прочные и устойчивые конструкции, что особенно важно для авиационных материалов. Благодаря своей надежности и долговечности стеклопластики широко используются в производстве элементов, работающих в условиях высоких нагрузок и экстремальных температур.

Технологический процесс производства стеклопластиков включает несколько этапов, начиная с пропитки стекловолокна связующим и заканчивая формовкой и отверждением материала. Эти процессы требуют точной настройки и контроля для обеспечения высокого качества и надежности разработанного изделия [5–7].

В зависимости от вида полимерной матрицы и наполнителя, а также их объемного содержания в материале можно получить стеклопластики с различным уровнем упруго-прочностных и диэлектрических характеристик.

Стеклённые волокна представляют собой материал, свойства которого в основном зависят от их состава. В зависимости от предназначения различают несколько типов стеклённых волокон. Первый тип (*E*) является наиболее распространенным и отличается низкой электрической проводимостью, второй (*S*) – имеет высокую прочность (данные волокна необходимы для изготовления материала, который должен выдерживать высокие механические нагрузки, обеспечивая долговечность и надежность конструкций), третий (*AR*) – обладает повышенными значениями щелочестойкости, четвертый (*D*) – характеризуется низкой диэлектрической проницаемостью. Помимо перечисленных типов, существуют и другие разновидности стеклённых волокон, каждая из которых обладает уникальными свойствами [7].

Прочностные свойства стекловолокон зависят от ряда ключевых факторов. Химический состав стекла определяет прочность материала. Наличие определенных добавок может улучшить механические характеристики стекловолокон. Кроме того, технология производства влияет на качество волокон – различные методы формования обеспечивают разные структуры и, соответственно, свойства материала. Важно учитывать наличие механических повреждений на поверхности волокон: даже небольшие дефекты могут значительно снизить прочность материала. Диаметр и длина волокон также имеют особое значение: увеличение диаметра волокна, как правило, сопровождается снижением прочности [8]. В табл. 1 приведены сравнительные характеристики волокон.

Таблица 1

Физико-механические и диэлектрические характеристики стекловолокон

Характеристики	Значения характеристик для волокон типа				
	<i>E</i>	<i>S</i>	<i>AR</i>	<i>D</i>	кварцевое
Температура размягчения, °С	830–860	1056	–	770	–
Температура плавления, °С	1066–1077	1500	1180–1200	–	1670
Плотность, г/см ³	2,5–2,6	2,4–2,5	2,6–2,7	2,2	2,2
Предел прочности при растяжении, МПа	3100–3500	4380–4590	3100–3500	2410	3400
Модуль упругости при растяжении, ГПа	76–78	88–91	72–74	52	69
Удлинение при растяжении, %	4,5–4,9	4,5–4,9	2,0–2,4	–	5
Тангенс угла диэлектрических потерь при частоте 10 ⁶ Гц	0,001	0,002	–	–	0,001
Диэлектрическая проницаемость при частоте 10 ⁶ Гц	5–6	4–5	–	3–4	3–4

Одним из основных применений кварцевых волокон является производство обтекателей для самолетов, которые не только обеспечивают аэродинамические свойства, но и защищают от воздействия внешних факторов. Кроме того, кварцевое волокно широко используется в производстве стеклопластика, где оно выступает в роли наполнителя. Этот материал пользуется большим спросом при создании изделий для радиотехнических целей [8, 9].

Кварцевое волокно получают из кристаллического кварца, который представляет собой модификацию кремнезема (SiO₂). Оно содержит не менее 99,95 % оксида кремния, что обеспечивает исключительные свойства. Высокая теплостойкость является одним из ключевых преимуществ кварцевого волокна. Оно способно выдерживать экстремально высокие температуры без деформации или разрушения. Эта особенность позволяет использовать его в высокотемпературных процессах, таких как производство стекла,

керамики, металлов, а также в космической отрасли. Кварцевое волокно также демонстрирует хорошие радиопрозрачные свойства. Благодаря низкой проводимости электричества оно широко используется в электротехнической промышленности для производства изоляционных материалов, высокочастотных кабелей, радиочастотных компонентов и других элементов, где требуется высокая степень изоляции. Теплофизические свойства кварцевого волокна также являются его сильной стороной. Оно обладает высокой теплопроводностью и низкой теплоемкостью, что делает его эффективным теплоизоляционным материалом. Химическая стойкость кварцевого волокна к воздействию агрессивных сред, таких как кислоты, щелочи, растворители, делает его ценным материалом для использования в химической промышленности. Оно устойчиво к коррозии и не подвержено разрушению под воздействием различных химических веществ. Кварцевое волокно также обладает высокими значениями упруго-прочностных характеристик, что делает его прочным и надежным материалом. Оно способно выдерживать высокие нагрузки без деформации и разрушения, что позволяет использовать его в конструкционных материалах, а также в производстве высокопрочных деталей для авиационной промышленности.

Однако высокая стоимость является основным недостатком кварцевого волокна, что ограничивает его широкое применение. В качестве альтернативы применяются стеклянные ткани на основе полых волокон, которые, хотя и уступают кварцевому волокну по ряду свойств, имеют значительно меньшую стоимость. Стеклянные ткани также обладают рядом преимуществ: высокой прочностью при растяжении и хорошей теплоизоляцией. В заключение можно отметить, что кварцевое волокно – это уникальный материал с широким спектром применения [10].

Для обеспечения соответствия ПКМ повышенным техническим требованиям необходимо использовать современные полимерные связующие с высоким уровнем физико-химических и технологических свойств [11].

В настоящее время широкое распространение получили эпоксидные смолы, которые позволяют создавать полимерные композиции с необходимыми реологическими и механическими характеристиками. Ключевой особенностью термореактивных связующих, к которым относятся эпоксидные смолы, является образование пространственной сетчатой структуры в результате химической реакции. Такая реакция происходит между би- или полифункциональными олигомерами (основными компонентами связующего) и низкомолекулярными веществами, называемыми отверждающими агентами. В итоге образуется жесткая неплавкая полимерная матрица, придающая композиту прочность и устойчивость к внешним воздействиям. В начальном состоянии жидкая смесь моно- или олигомеров с отверждающим агентом обладает низкой вязкостью. Это свойство позволяет легко пропитывать наполнители, формируя непрерывную матрицу. Отверждение может происходить при комнатной или повышенных температурах, что зависит от используемых компонентов и желаемых свойств материала. Полуфабрикаты, пропитанные смолой, называются препрегами. Они могут храниться в течение определенного времени в конкретных условиях, когда скорость отверждения полимерной матрицы минимальна. Этот период называется жизнеспособностью препрега и является ключевым фактором в технологии производства ПКМ.

Современные эпоксидные смолы предлагают широкий спектр возможностей для оптимизации свойств ПКМ:

- высокая прочность и жесткость – благодаря образованию плотной сетчатой структуры эпоксидные смолы придают ПКМ повышенную прочность при растяжении, изгибе и сжатии;
- высокая адгезия к материалам различной природы;
- стойкость к воздействию различных химических веществ, таких как кислоты, щелочи, растворители;
- водонепроницаемость;

– термостойкость, что позволяет использовать эпоксидные смолы для создания высокотемпературных ПКМ.

Кроме того, существует множество модификаторов эпоксидных смол, которые позволяют регулировать свойства материала в соответствии с конкретными требованиями: пластификаторы увеличивают гибкость и ударную прочность; наполнители изменяют механические свойства, плотность, теплопроводность, электропроводность и др.; сшивающие агенты увеличивают прочность и термостойкость.

Применение эпоксидных смол в производстве ПКМ открывает широкие возможности для создания высококачественных материалов с уникальными свойствами, отвечающих требованиям технических стандартов. В зависимости от типа наполнителя, модификаторов и технологии изготовления можно получить ПКМ с различными характеристиками [12, 13].

Связующее ВСЭ-1212 с высокими механическими и деформационными характеристиками, а также препреги на его основе обеспечивают возможность изготовления изделий с высоким уровнем упруго-прочностных свойств, устойчивых к воздействию неблагоприятных эксплуатационных факторов. Данное связующее состоит из модифицированной эпоксидной и полифункциональной смолы, аминного ароматического отвердителя и термопласта. Температура отверждения варьируется от 160 до 180 °С [14, 15].

Связующее марки ВСЭ-1212 относится к расплавному типу и не нуждается в использовании легколетучих растворителей, что в свою очередь повышает экологическую безопасность при производстве, а также способствует существенному снижению пористости, увеличению стойкости к ударным воздействиям элементов конструкций [16–18].

В настоящее время в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ разработан и паспортизован стеклопластик марки ВПС-48/7781-14 на основе расплавленного эпоксидного связующего ВСЭ-1212 и стеклоткани арт. 7781-14. Стеклопластик марки ВПС-48/7781-14 применяется для изготовления деталей конструкционного назначения, в том числе створок капота, обтекателя пилона, узлов реверсивного устройства мотогондолы двигателя ПД-14. Материал может эксплуатироваться при температурах от –60 до +120 °С и кратковременно до +150 °С. Разработанный стеклопластик имеет высокие упруго-прочностные характеристики, в том числе в условиях воздействия повышенных температур, влажности и различных агрессивных сред, но демонстрирует достаточно высокие значения диэлектрической проницаемости.

Разработка стеклопластика марки ВПС-48/ТС-8/3К на основе эпоксидного расплавленного связующего марки ВСЭ-1212 и кварцевого армирующего наполнителя является актуальной задачей и позволит обеспечить создание средненагруженных элементов летательных аппаратов конструкционного и радиотехнического назначения.

На основе расплавленного эпоксидного связующего марки ВСЭ-1212 и кварцевой ткани ТС-8/3К-39 отработана технология изготовления препрега стеклопластика ВПС-48/ТС-8/3К на современной пропиточной машине, которая обеспечивает высокую точность и минимальный разброс значений массовых характеристик, а также экологичность и высокую культуру производства. На рис. 1 изображена пропиточная машина для изготовления препрега по расплавленной технологии.



Рис. 1. Пропиточная машина для изготовления препрега по расплавленной технологии

Расплавная технология изготовления препрега позволяет реализовать качественную пропитку наполнителя, минимизировать наличие газообразных продуктов и тем самым снизить пористость, а также повысить упруго-прочностные характеристики ПКМ.

Результаты и обсуждение

Для разработки стеклопластика радиотехнического назначения выбрана кварцевая ткань марок ТС-8/3К-ТО (термообработанная) и ТС-8/3К-39 (с силановым замасливателем 39). Исследована капиллярность кварцевых волокон тканей и их типовых менисков (рис. 2).

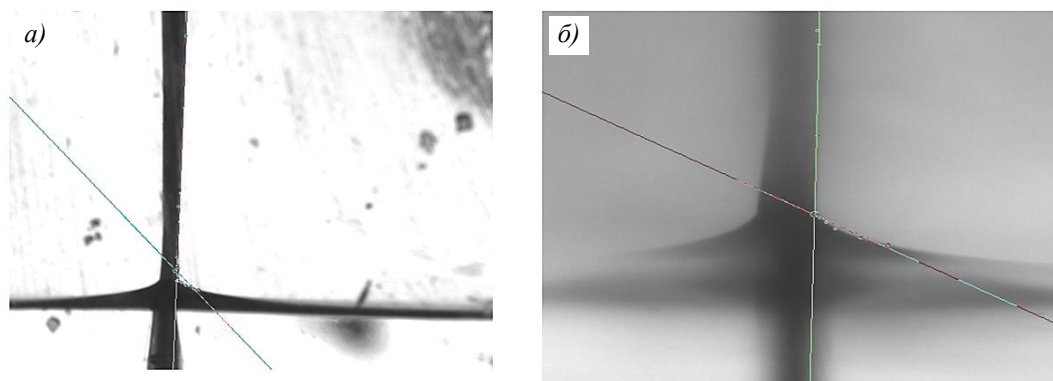


Рис. 2. Результаты исследований типовых менисков кварцевой ткани марок ТС-8/3К-ТО (а) и ТС-8/3К-39 (б)

Высота подъема уровня раствора дихромата калия для волокна марки ТС-8/3К-ТО составляет 10 мм, марки ТС-8/3К-39 – отсутствует. Для ткани марки ТС-8/3К-ТО угол типового мениска соответствует 42 градусам, ТС 8/3-К-39 – равен 68 градусам. Это влияет на отвержение матрицы (связующего) и наполнителя (кварцевой ткани).

Основным отличием кварцевой ткани ТС-8/3К-ТО от ТС-8/3К-39 является используемый замасливатель. В термообработанных тканях на этапе изготовления после вытяжки из расплава на поверхность волокон наносится парафиновая эмульсия, необходимая для защиты в процессе дальнейшей текстильной переработки. После процедуры изготовления полотна ткани образовавшаяся пленка парафина удаляется с поверхности путем термической обработки. Однако при работе с наполнителем марки ТС-8/3К-ТО зачастую можно наблюдать темные участки кварцевых нитей, что с учетом описанной процедуры получения может свидетельствовать о неполном удалении парафиновой эмульсии и продуктов ее термоокислительной деструкции. В связи с этим, а также с учетом того, что парафиновая эмульсия обладает гидрофобными свойствами, закономерно рассматривать тот факт, что наличие парафиновой эмульсии на поверхности снижает способность кварцевых волокон к смачиванию, что в конечном счете приводит к образованию пор в полимерной матрице ПКМ.

Кварцевая ткань марки ТС-8/3К-39, напротив, на этапе изготовления волокон покрывается активным замасливателем, содержащим поверхностно-активные вещества, повышающие смачиваемость волокон. В конечном счете использование замасливателя марки 39 обеспечивает лучшее распределение полимерного связующего по поверхности волокон кварцевого наполнителя и в процессе изготовления ПКМ обеспечивает минимальное количество воздушных включений в полимерной матрице.

Методом ультразвукового контроля исследованы плиты стеклопластиков, изготовленные методом вакуум-автоклавного формования (рис. 3).

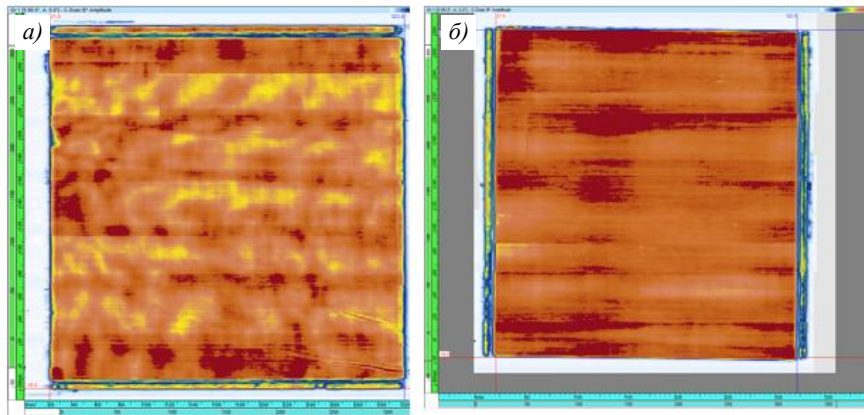


Рис. 3. Результаты исследований плит стеклопластика на основе кварцевой ткани ТС-8/ЗК-ТО (а) и ТС-8/ЗК-39 (б) методом ультразвукового контроля

Результаты ультразвукового контроля представлены в виде С-сканов донных эхосигналов, где каждому цвету от белого до бордового соответствует амплитуда эхосигнала от донной поверхности от минимального до максимального значения соответственно. При хорошем качестве плиты (низкой пористости) ультразвуковой сигнал проходит через материал, отражается от донной поверхности и возвращается обратно в преобразователь. При этом затухание ультразвукового сигнала минимально, а амплитуда отраженного от донной поверхности эхосигнала будет максимальна. На рис. 3, а наблюдается уменьшение амплитуды эхосигнала от донной поверхности, что может свидетельствовать о наличии повышенной пористости образца плиты стеклопластика на основе ткани марки ТС-8/ЗК-ТО. Проходя через участки повышенной пористости, ультразвуковой сигнал начинает дополнительно рассеиваться, соответственно в преобразователь будет возвращаться эхосигнал с меньшей амплитудой.

На рис. 3, б приведен С-скан плиты на основе ткани марки ТС-8/ЗК-39, который имеет практически равномерную максимальную амплитуду эхосигнала от всей донной поверхности плиты. Можно сделать вывод, что образец плиты стеклопластика на основе ткани ТС-8/ЗК-39 имеет минимальную пористость (близкую к нулю).

По результатам исследований для разработки стеклопластика на основе эпоксидного расплавленного связующего марки ВСЭ-1212 выбрана кварцевая ткань марки ТС-8/ЗК-39 с силановым замасливателем.

В табл. 2 приведены результаты сравнения физико-механических и диэлектрических характеристик стеклопластиков марок ВПС-48/ТС-8/ЗК и ВПС-48/7781-14.

Таблица 2

Физико-механические и диэлектрические характеристики стеклопластиков марок ВПС-48/ТС-8/ЗК и ВПС-48/7781-14

Характеристики	Значения характеристик для стеклопластика	
	ВПС-48/ТС-8/ЗК	ВПС-48/7781-14
Содержание связующего, % (по массе)	36–39	35–39
Плотность, г/см ³	1734–1744	1800–2000
Предел прочности при растяжении*, МПа	898–926	400–440
Модуль упругости при растяжении*, МПа	27–28	26–32
Предел прочности при сжатии*, МПа	530–690	550–640
Модуль упругости при сжатии*, МПа	31–35	24–28
Тангенс угла диэлектрических потерь**	0,011	0,011
Диэлектрическая проницаемость**	3,48–3,56	4,84

* При температуре 23±2 °С и направлении приложения нагрузки [0°].
 ** При частоте 10¹⁰ Гц.

Полученные результаты исследования подтверждают, что новый стеклопластик на основе расплавленного эпоксидного связующего ВСЭ-1212 и кварцевой ткани ТС-8/3К-39 обладает высоким уровнем упруго-прочностных характеристик, сравнимым со свойствами ранее разработанного стеклопластика, изготовленного на основе стеклоткани арт. 7781-14. Новый стеклопластик демонстрирует высокие технические характеристики. Особенно следует отметить низкие значения диэлектрической проницаемости у образцов стеклопластика ВПС-48/ТС-8/3К, что указывает на потенциальное применение данного материала в различных радиотехнических конструкциях. Это открывает новые перспективы для использования разработанного стеклопластика в авиационной отрасли, где требуются материалы с низкой диэлектрической проницаемостью.

Таким образом, новый стеклопластик представляет собой перспективный материал, который может найти широкое применение в различных областях промышленности. Его высокие упруго-прочностные характеристики и низкая диэлектрическая проницаемость позволяют создавать легкие и прочные конструкции радиотехнического назначения изделий авиационной техники.

Заключения

В НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ разработана широкая номенклатура ПКМ на основе расплавленного эпоксидного связующего ВСЭ-1212, которые применяются для изготовления деталей и конструкций изделий авиационной техники.

Установлено, что пониженной пористостью обладает стеклопластик на основе расплавленного связующего ВСЭ-1212 и кварцевой ткани марки ТС-8/3К-39. Следует отметить, что разработанный стеклопластик ВПС-48/ТС-8/3К на основе кварцевой ткани превосходит стеклопластик ВПС-48/7781-14 на основе конструкционной стеклоткани по следующим показателям: диэлектрическая проницаемость, тангенс угла диэлектрических потерь, предел прочности, модуль упругости при сжатии.

Исходя из полученных значений диэлектрических характеристик, можно сделать вывод о возможности применения стеклопластика ВПС-48/ТС-8/3К в конструкциях радиотехнического назначения изделий авиационной техники.

Применение разработанного стеклопластика позволит обеспечить высокие технические характеристики элементов конструкций радиотехнического назначения и повысить показатели экологической безопасности производства путем использования безрастворной технологии изготовления препрега.

Работа выполнена при поддержке ЦКП «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ».

Список источников

1. Каблов Е.Н. Роль фундаментальных исследований при создании материалов нового поколения // Тез. докл. XXI Менделеевского съезда по общей и прикладной химии: в 6 т. СПб., 2019. Т. 4. С. 24.
2. Гетьман А.А. Основные направления развития материаловедения для создания новой техники // Арматуростроение. 2021. № 4 (133). С. 48–51.
3. Каблов Е.Н. Композиты: сегодня и завтра // Металлы Евразии. 2015. № 1. С. 36–39.
4. Каблов Е.Н. Основные итоги и направления развития материалов для перспективной авиационной техники // 75 лет. Авиационные материалы. М.: ВИАМ, 2007. С. 20–26.
5. Раскутин А.Е. Стратегия развития полимерных композиционных материалов // Авиационные материалы и технологии. 2017. № 5. С. 344–348. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-s-344-348.
6. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // Авиационные материалы и технологии. 2015. № 1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.

7. Шершак П.В., Яковлев Н.О., Сутубалов А.И. Стандарты по испытаниям полимерных композиционных материалов. Часть 1. Растяжение // *Авиационные материалы и технологии*. 2023. № 3 (72). Ст. 12. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 29.05.2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-3-152-166.
8. Гутников С.И., Лазорьяк Б.И., Селезнев А.Н. *Стекланные волокна: учеб. пособие*. М.: МГУ, 2010. 53 с.
9. Батаев А.А., Батаев В.А. *Композиционные материалы*. М.: Логос, 2006. 400 с.
10. Вавилова М.И., Кавун Н.С. Свойства и особенности армирующих стекланных наполнителей, используемых для изготовления конструкционных стеклопластиков // *Авиационные материалы и технологии*. 2014. № 3. С. 33–37. DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-3-33-37.
11. Бородулин А.С. Свойства и особенности структур стекланных волокон, используемых для изготовления стеклопластиков // *Материаловедение*. 2012. № 7. С. 34–37.
12. Ткачук А.И., Донецкий К.И., Терехов И.В., Караваев Р.Ю. Применение термореактивных связующих для изготовления полимерных композиционных материалов методами безавтоклавного формования // *Авиационные материалы и технологии*. 2021. № 1 (70). Ст. 03. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 01.07.2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-1-22-33.
13. Буров А.К., Андреевская Г.Д. *Высокопрочные стеклопластики: учеб. пособие*. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 72 с.
14. Мухаметов Р.Р., Петрова А.П. *Термореактивные связующие для полимерных композиционных материалов: учеб. пособие / под общ. ред. Е.Н. Каблова*. М.: НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, 2021. 528 с.
15. Малышева Г.В., Мараховский П.С., Баринов Д.Я., Николаев Е.В. Оптимизация режимов отверждения стеклопластиков на основе эпоксидного связующего // *Авиационные материалы и технологии*. 2023. № 2 (71). Ст. 08. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 17.05.2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-2-94-103.
16. Ткачук А.И., Гуревич Я.М., Гусева М.А., Мишуров К.С. Технологические и эксплуатационные характеристики и области применения эпоксидного связующего ВСЭ-1212, перерабатываемого по препреговой технологии // *Клеи. Герметики. Технологии*. 2018. № 4. С. 29–34.
17. Загора А.Г., Ткачук А.И., Терехов И.В., Мухаметов Р.Р. Методы химической модификации эпоксидных олигомеров (обзор) // *Труды ВИАМ*. 2021. № 7 (101). Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 17.05.2024). DOI: 10.18577/2307-6064-2021-0-7-73-85.
18. Дорошенко Ю.Е., Лебедева Е.Д. *Связующие для композиционных материалов*. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2003. 56 с.

References

1. Kablov E.N. The role of fundamental research in the creation of new generation materials. *Reports XXI Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry*: in 6 vols. St. Petersburg, 2019, vol. 4, p. 24.
2. Getman A.A. Main directions of development of materials science for the creation of new technology. *Armaturostroenie*, 2021, no. 4 (133), pp. 48–51.
3. Kablov E.N. Composites: today and tomorrow. *Metally Evrazii*, 2015, no. 1, pp. 36–39.
4. Kablov E.N. Main results and directions of development of materials for advanced aviation technology. *75 years. Aviation materials*. Moscow: VIAM, 2007, pp. 20–26.
5. Raskutin A.E. Development strategy of polymer composite materials. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. S, pp. 344–348. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-s-344-348.
6. Kablov E.N. Innovative developments of FSUE «VIAM» SSC of RF on realization of «Strategic directions of the development of materials and technologies of their processing for the period until 2030». *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2015, no. 1 (34), pp. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
7. Shershak P.V., Yakovlev N.O., Sutubalov A.I. Standards for testing polymer composite materials. Part 1. Tensile properties. *Aviation materials and technologies*, 2023, no. 3 (72), paper no. 12. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: May 29, 2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-3-152-166.

8. Gutnikov S.I., Lazoryak B.I., Seleznev A.N. *Glass fibers: textbook*. Moscow: Moscow State Univ., 2010, 53 p.
9. Bataev A.A., Bataev V.A. *Composite materials*. Moscow: Logos, 2006, 400 p.
10. Vavilova M.I., Kavun N.S. The properties of glass filler for constructions of fiberglass. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2014, no. 3, pp. 33–37. DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-3-33-37.
11. Borodulin A.S. Properties and features of the structures of glass fibers used for the production of fiberglass. *Materialovedenie*, 2012, no. 7, pp. 34–37.
12. Tkachuk A.I., Donetskyy K.I., Terekhov I.V., Karavaev R.Yu. The use of thermosetting matrices for the manufacture of polymer composite materials by the non-autoclave molding methods. *Aviation materials and technologies*, 2021, no. 1 (62), paper no. 03. Available at: <https://www.journal.viam.ru> (accessed: July 01, 2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-1-22-33.
13. Burov A.K., Andreevskaya G.D. *High-strength fiberglass: textbook*. Moscow: Publ. House of the USSR Academy of Sciences, 1958, 72 p.
14. Mukhametov R.R., Petrova A.P. *Thermosetting binders for polymer composite materials: textbook*. Ed. E.N. Kablov. Moscow: National Research Center «Kurchatov Institute» – VIAM, 2021, 528 p.
15. Malysheva G.V., Marakhovskiy P.S., Barinov D.Ya., Nikolaev E.V. Optimization of the curing modes of fiber-glass based on epoxy binder. *Aviation materials and technologies*, 2023, no. 2 (71), paper no. 08. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: May 17, 2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-2-94-103.
16. Tkachuk A.I., Gurevich Ya.M., Guseva M.A., Mishurov K.S. Technological and operational characteristics and areas of application of the epoxy binder VSE-1212, processed using prepreg technology. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2018, no. 4, pp. 29–34.
17. Zagora A.G., Tkachuk A.I., Terekhov I.V., Mukhametov R.R. Methods of chemical modification of epoxy oligomers (review). *Trudy VIAM*, 2021, no. 7 (101), paper no. 08. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: May 17, 2024). DOI: 10.18577/2307-6064-2021-0-7-73-85.
18. Doroshenko Yu.E., Lebedeva E.D. *Binders for composite materials*. Moscow: Mendeleyev Univ. of Chemical Technology of Russia, 2003, 56 c.

Информация об авторах

Гамазина Александра Васильевна, техник 1 категории, НИЦ «Курчатовский институт» – VIAM, admin@viam.ru

Курнос Артем Олегович, начальник лаборатории, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – VIAM, admin@viam.ru

Вавилова Мария Ивановна, заместитель начальника лаборатории, НИЦ «Курчатовский институт» – VIAM, admin@viam.ru

Кочетов Николай Романович, инженер 2 категории, НИЦ «Курчатовский институт» – VIAM, admin@viam.ru

Information about the authors

Alexandra V. Gamazina, First Category Technician, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Artem O. Kurnosov, Head of Laboratory, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Maria I. Vavilova, Deputy Head of Laboratory, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Nikolay R. Kochetov, Second Category Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 21.08.2024; одобрена и принята к публикации после рецензирования 26.08.2024.
The article was submitted 21.08.2024; approved and accepted for publication after reviewing 26.08.2024.