

Научная статья

УДК 678.8

DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-5-41-52

КЛЕЕВЫЕ ПРЕПРЕГИ Пониженной ГОРЮЧЕСТИ, ПРедНАЗНАЧЕННЫЕ для ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ И ТРЕХСЛОЙНЫХ СОТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ*А.И. Старков¹, К.Е. Куцевич¹, Т.Ю. Тюменева¹, А.П. Петрова¹*

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

Аннотация. Рассмотрено применение клеевых препрегов пониженной горючести для изготовления панелей пола самолетов. Показано влияние антипиренов различных типов, приведены свойства клеевого связующего ВСК-14-6 с пониженной горючестью, клеевых препрегов на его основе и ПКМ с пониженной горючестью с различными типами наполнителей – стеклопластика ВПС-68 и углепластика ВКУ-59. Приведены данные о физико-механических свойствах образцов трехслойных сотовых панелей пола с обшивками из клеевых угле- и стеклопластиков. Представлена сравнительная весовая оценка с существующими панелями пола изделий Ил-114, Ил-96, Ту-204 и Ту-214.

Ключевые слова: клеевое связующее пониженной горючести, трехслойная конструкция, панели пола, клеевой препрег, снижение горючести, антипирены, прочностные характеристики

Для цитирования: 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. 2022. № 5 (111). Ст. 04. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-5-41-52.

Scientific article

LOW-COMBUSTIBILITY ADHESIVE PREPREGS DESIGNED FOR THE MANUFACTURE OF INTEGRAL AND THREE-LAYER HONEYCOMB STRUCTURES AIRCRAFT TECHNOLOGY*A.I. Starkov¹, K.E. Kutsevich¹, T.Yu. Tyumeneva¹, A.P. Petrova¹*

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 paper considers the application of adhesive prepregs with reduced flammability for the manufacture of aircraft floor panels. The effect of different types of flame retardants is shown, properties of adhesive binder VSK-14-6 with reduced flammability, adhesive prepregs on its basis and PCM with reduced flammability with different types of fillers – fiberglass VPS-68 and carbon fiber plastic BCU-59 are given. Data on physical and mechanical properties of samples of three-layered honeycomb floor panels with cladding made of adhesive carbon and glass-reinforced plastics are presented. A comparative weight estimation with the existing floor panels is given Il-114, Il-96, Tu-204, Tu-214 products.

Keywords: adhesive binder of reduced flammability, three-layer structure, floor panels, adhesive prepreg, reduction of flammability, flame retardants, strength characteristics

For citation: Starkov A.I., Kutsevich K.E., Tyumeneva T.Yu., Petrova A.P. Low-combustibility adhesive prepregs designed for the manufacture of integral and three-layer honeycomb structures aircraft technology. *Trudy VIAM*, 2022, no. 5 (111), paper no. 04. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-5-41-52.

Введение

Производство полимерных композиционных материалов (ПКМ) является динамично развивающимся направлением, которое позволяет существенным образом увеличить валовую прибыль. В конструктивной составляющей множества изделий авиационной техники доля использования композиционных материалов ранее не превышала 11 %, при этом в настоящее время при создании авиационной техники предусматривается замена традиционных сталей и сплавов на перспективные ПКМ с долей использования последних до 50 % в зависимости от изделия. В частности, в конструктивной составляющей самолетов Boeing 787 и Airbus A350 XWB доля использования композиционных материалов превышает 50 %.

Современная тенденция по увеличению в авиационной технике объемной доли использования композиционных материалов связана с повышением требований к механическим характеристикам конструкционных материалов, а также экономической и весовой эффективности конечного изделия. Полимерные композиционные материалы являются широко используемым классом конструкционных материалов в самолетах нового поколения. В настоящее время ПКМ, получаемые с использованием современных технологий переработки, способны обеспечивать все возрастающие требования к упруго-прочностным характеристикам материалов и их эксплуатационной стабильности, которые необходимы для обеспечения работоспособности конструкций [1–3].

К материалам, используемым в интерьерах воздушных судов, а также транспортных средств, предъявляются требования по пожаробезопасности. В последнее время эта проблема стоит особенно остро в связи с заменой во многих агрегатах, используемых в изделиях авиационной техники, металлических материалов на ПКМ, которые позволяют снизить массу конструкций, но при этом являются более горючими.

В соответствии с нормами летной годности гражданских самолетов НЛПГС-3 в России в интерьерах самолетов могут применяться материалы с кислородным индексом >30 (самозатухающие) и дымообразованием по ГОСТ 24632–81 – не более IV группы, по ГОСТ 12.1.044–89 группа D1 – малая дымообразующая способность; с токсичностью продуктов горения HC L50 – не более $0,02 \text{ кг/м}^3$, по ГОСТ 12.1.044–89 группа T1 HC L50 – до 40 мг/г (малоопасная). Международные авиационные организации FAR и FAA ввели более жесткие требования (FAR 25.853a, 25.836, 28.855) к материалам, применяемым в интерьерах самолетов, по сравнению с ранее действовавшими нормами FAR-25-15. Предложены новые требования к материалам интерьера по тепловыделению при горении (OSU-test) и по токсичности продуктов горения (Airbus Industries Tech Spec NATS 1000.001). Нормы, регламентирующие характеристики воспламеняемости, дымовыделения и токсичности продуктов горения (FST-свойства) материалов, используемых в авиакосмических конструкциях, изложены в Fire Test Methodology for Aerospace Materials (NASA-CR-166196) [4, 5].

Материалы, используемые в конструкции интерьеров пассажирских самолетов, должны отвечать требованиям авиационных правил по пожарной безопасности в соответствии с главами АП-23 и АП-25, в конструкции вертолетов – АП-27 и АП-29 [6].

Трудности при создании пожаробезопасных ПКМ заключаются не только в различных требованиях к материалу в зависимости от области применения, но и в наличии разнообразных показателей огнестойкости и пожаробезопасности, таких как кислородный индекс, скорость распространения пламени, тепловыделение при горении, коэффициент дымообразования, плотность дыма, токсичность продуктов горения. Все это приводит к необходимости точного подбора компонентов, включая антипирены, и их оптимальных соотношений в связующем с учетом не только данных испытаний

на огнестойкость, но и требований технологии переработки и условий эксплуатации для каждого конкретного изделия [7–9].

В патентной научно-технической литературе наиболее часто встречаются огнестойкие материалы на основе эпоксидных и полиэфирных смол. Благодаря малой усадке, низкому водопоглощению, отличным адгезионным свойствам и высокой прочности эпоксидные связующие нашли широкое применение в самых разных областях – от клеев и наливных полов до связующих для конструкционных ПКМ.

Среди российских заявителей следует отметить специалистов НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ (далее – ВИАМ). Так, в патенте RU 2223988 [10] представлены ПКМ из угле-, органо- и стекловолоконистых наполнителей и связующего на основе эпоксидного олигомера N,N,N',N'-тетраглицидилдиамино-3,3'-дихлордифенилметана 100 с отвердителем 4,4'-диаминодифенилсульфоном 44 и 0,01–1,0 % (по массе) фуллерена (C_{2n}, где n – не менее 30) с добавлением специальных добавок: 0,1–1,5 % (по массе) открытых углеродных нанотрубок и 0,5–10 % (по массе) фуллероидного многослойного наномодификатора астралена – для применения в элементах конструкций авиационной и космической техники. Полимерные композиционные материалы получают пропиткой указанным связующим угле-, органо- и стекловолоконистых наполнителей. При введении в основную смолу связующего специальных добавок повышаются механические свойства материала.

В патенте RU 2276638 [11] представлен ПКМ из армирующего стекловолоконистого наполнителя (стеклоткани), который дополнительно содержит полые стеклянные микросферы и гидроксид алюминия, и связующего на основе азотсодержащей фенолформальдегидной смолы резольного типа, модифицированной полиэтиленгликолем и фосдиолом. Этот материал предназначен для изготовления деталей интерьера с пониженным тепловыделением для авиации, судо- и автомобилестроения, железнодорожного транспорта и строительства, в том числе для крупногабаритных изделий сложной конфигурации. Его применение обеспечит выполнение современных требований летной годности АП-25, предъявляемых к транспортным средствам по пожаробезопасности при перевозке пассажиров.

При разработке огнестойких термопластичных материалов повышенное внимание уделяется проблеме предотвращения образования горящих капель. Для этого в состав связующего вводят волокнистый наполнитель, изготовленный из фторсодержащих термопластов [12], или амиды жирных кислот [13]. Для уменьшения горючести полиэфиров, в частности полибутилентерефталата, а также полистирола используют галогенсодержащие антипирены [14, 15].

Снижение горючести ПКМ можно обеспечить путем введения в состав связующих минеральных наполнителей или специальных огнестойких добавок – антипиренов, а также путем химического модифицирования олигомеров, используемых в качестве компонентов связующих.

Каждый из этих путей имеет свои преимущества и недостатки. Так, введение огнестойких добавок (наполнителей, антипиренов) хотя и является более простым и распространенным способом, однако при повышении температуры возможно выпотевание некоторых добавок, а также ухудшение прочностных характеристик отвержденных модифицированных связующих. При синтезе негорючих олигомеров используют мономеры, содержащие химически связанные огнегасящие элементы, однако стоимость таких олигомеров значительно больше аналогичных, не содержащих огнегасящих элементов. Ингибирующий эффект соединений, вступающих в химическое взаимодействие при отверждении клеевого связующего, обычно больше, чем для инертных продуктов [16].

Одной из проблем использования композиционных материалов в составе конструкций (в частности, трехслойных сотовых конструкций) является значительно меньшая стабильность их механических характеристик по сравнению с традиционными материалами [17]. Недостаточные знания о механических характеристиках композитных конструкций могут привести к созданию перетяжеленных конструкций. Помимо этого, композиционные конструкции, как правило, имеют чрезмерные запасы прочности, что существенно снижает эффективность их использования.

Панели пола в самолетах имеют большой объем: в магистральных самолетах с числом мест от 200 их площадь превышает 100 м^2 , с числом мест от 24 до 80 составляет $14\text{--}45 \text{ м}^2$ [18].

Общая масса панелей пола в одном самолете составляет от 250 до 500 кг. Внедрение ПКМ при изготовлении панелей пола летательных аппаратов позволяет снизить их массу, существенно повысить долговечность при сохранении прочности и жесткости [19–21]. В связи с вышеизложенным при изготовлении панелей пола из ПКМ необходимо, чтобы входящие в их состав материалы обладали пониженной горючестью.

Поиск путей обеспечения минимальной массы элементов конструкции самолета является одним из приоритетных направлений развития современной авиационной техники. Одной из перспективных сфер применения ПКМ в конструкции современных пассажирских самолетов являются панели пола. Использование композиционных материалов с высокой удельной прочностью и жесткостью позволяет повысить весовую эффективность панелей пола и обеспечить резерв массы для увеличения дальности полета и полезной нагрузки или снижения расхода топлива и общей стоимости изделия [22, 23].

В общем случае панели пола представляют собой трехслойные конструкции, т. е. систему, которая состоит из сравнительно тонких несущих слоев (обшивок) и более толстого внутреннего слоя, называемого наполнителем [24]. В самолетах прошлого поколения (Ту-144, Ту-154, Ил-18) панели пола представляли собой трехслойные конструкции с обшивками из фанеры, алюминия или стеклопластика и наполнителями из алюминиевых сот или пенопласта. Средняя масса 1 м^2 панелей пола с использованием указанных материалов составляла $4,5\text{--}5,6 \text{ кг}$ в зависимости от места установки в салоне самолета [18].

Разработка и внедрение материалов нового поколения позволяет существенно снизить массу 1 м^2 панелей пола. Например, в конструкции трехслойных сотовых панелей пола самолета Ил-96 использован стеклотекстолит КАСТ-ВС в качестве верхней обшивки, углепластик пониженной горючести КМУ-3 – в качестве нижней обшивки и сотовласт ПСП-1 – в качестве сотового наполнителя, который соединен с обшивками посредством пленочного клея. Данные материалы позволили снизить массу 1 м^2 панелей пола до $3,4\text{--}3,8 \text{ кг}$ в зависимости от места установки. Масса 1 м^2 панелей пола самолета Ил-114, представляющих собой трехслойную сотовую конструкцию с обшивками из стеклоткани на основе эпоксидного связующего и полимерного сотового наполнителя, составляет от $2,8$ до $3,6 \text{ кг}$ в зависимости от места установки. В конструкциях панелей пола самолета Ту-204 использованы обшивки на основе высокомолекулярного стеклопластика и полимерного сотового наполнителя, что позволило достичь массы 1 м^2 панелей пола в пределах $2,5\text{--}5,2 \text{ кг}$ в зависимости от места установки [19, 25, 26].

В ВИАМ разработан принципиально новый класс полимерных материалов – композиционные материалы клеевые (КМК) на основе связующего пониженной горючести марки ВСК-14-6 и стекло-, угленеполнителей, предназначенных для изготовления обшивок трехслойных сотовых конструкций за один технологический цикл, в том числе панелей пола, с целью импортозамещения ПКМ фирмы Hexcel (США) [16].

Материалы и методы

Производство ПКМ должно базироваться на использовании современного оборудования, которое позволяет обеспечивать массовую долю содержания связующего с минимальным разбросом в пределах $\pm 3\%$.

Технологию получения клеевых препрегов отработывали путем нанесения расплава клеевого связующего на антиадгезионную бумагу (подложку) из верхнего и нижнего клеенаносящих узлов установки Coatema BL-2800 с использованием систем обогреваемых валов, двухстороннего дублирования наполнителя с пленками клеевого связующего в узлах обогреваемых каландров с последующей смоткой клеевого препрега через антиадгезионную прокладку в рулон (см. рисунок).



Установка Coatema BL-2800 для изготовления калиброванных прецизионных препрегов

В процессе отработки технологических режимов изготовления клеевых препрегов варьировали следующие параметры – температуру узла нанесения связующего, температуру каландров и скорость линии пропитки с определением содержания связующего в препреге.

Температуры наносящих валов, каландров и нагревательных столов определялись интервалом температур переработки клеевого связующего ВСК-14-6. Величину зазора между наносящими валами, обеспечивающими равномерное распределение связующего в препреге и качественное совмещение с наполнителем, определяли исходя из толщины моно слоя разрабатываемых препрегов (с учетом толщин подложки и пленки).

В данной статье использованы следующие нормативные ссылки (табл. 1).

Таблица 1

Использованная нормативная документация

Показатель	Нормативный документ
Предел прочности при растяжении с определением модуля упругости и относительного удлинения	ГОСТ Р 56785–2015
Предел прочности при сжатии с определением модуля упругости	ГОСТ 33519–2015
Предел прочности при поперечном изгибе с определением модуля упругости	ГОСТ 56810–2015
Предел прочности при межслойном сдвиге	ГОСТ 32659–2014
Горючесть	АП-25, Приложение F, Часть I; ОСТ 1 90094–79
Разрушающая нагрузка при четырехточечном изгибе	ГОСТ Р 56791–2015
Разрушающая нагрузка при трехточечном изгибе	ГОСТ Р 56798–2015
Прочность при сжатии трехслойной сотовой панели	ГОСТ Р 58816–2020
Усилие отслаивания обшивки от сотового заполнителя	ГОСТ Р 56792–2015
Прочность при сдвиге	ГОСТ Р 57834–2017
Прочность при отрыве клеевых соединений от сотового заполнителя	ГОСТ 14760–69

Результаты и обсуждение

При разработке ПКМ на основе клеевых препрегов пониженной горючести в качестве матрицы выбрано клеевое связующее марки ВСК-14-6 (ТУ 1-595-14-1423–2014) с теплостойкостью 80 °С на основе бромсодержащей эпоксидной смолы. По результатам исследования комплекса свойств ПКМ выбраны образцы КМК на основе высокопрочного углеродного жгутового наполнителя марки SYT49(S)-12K и стеклоткани Т-60(ВМП) со средними значениями пределов прочности при растяжении >1400 и >1300 МПа соответственно.

Свойства КМК на основе клеевого связующего пониженной горючести марки ВСК-14-6 в сравнении с аналогами представлены в табл. 2.

Таблица 2

Свойства разрабатываемых российских композиционных клеевых материалов на основе клеевого связующего пониженной горючести марки ВСК-14-6 в сравнении с аналогами

Свойства	Значения свойств для материала			
	разрабатываемого углепластика	разрабатываемого стеклопластика	углепластика на основе препрега HexPly M56/40%/193PW/AS4-3K фирмы Hexcel (США)	стеклопластика на основе препрега HexPly M76/37%/7781 фирмы Hexcel (США)
Предел прочности при растяжении, МПа	≥1400	≥1300	924	470
Горючесть	Трудногорящий			
Жизнеспособность при температуре 23 °С, сут	90	90	30	30

Исследованы прочностные свойства на соответствие требованиям ТУ 1-595-14-1423–2014 при сдвиге по ГОСТ 14759–2016 при температуре 20 и 80 °С на образцах из сплава Д16-АТ Ан.Окс.хром и определена массовая доля летучих веществ (табл. 3).

Таблица 3

Основные свойства клеевого связующего марки ВСК-14-6

Свойства	Значения свойств* для клеевого связующего ВСК-14-6	Требования по ТУ 1-595-14-1423–2014
Предел прочности при сдвиге отжеженного образца, МПа, при температуре, °С:		
20	$\frac{29,5-34,5}{31,8}$	Не менее 24
80	$\frac{21,5-30,0}{25,4}$	Не менее 17
Массовая доля летучих веществ, %	0,8	Не более 2

*В числителе – минимальное и максимальное значения, в знаменателе – среднее.

Установлено, что массовая доля летучих веществ и предел прочности при сдвиге при температуре испытаний 20 и 80 °С партии клеевого связующего соответствует требованиям ТУ 1-595-14-1423–2014.

С применением клеевого связующего ВСК-14-6 на автоматизированной установке Coatema BL-2800 изготовлены клеевые препреги с использованием как углеродных, так и стеклянных наполнителей. На основе углеродных наполнителей разработаны препреги КМКУ-6.80.SYT49(S).45/65, на основе стеклянных наполнителей – препреги КМКС-6.80.Т60(ВМП).37/55. Свойства препрегов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Технические требования к клеевым препрегам

Свойства	Значения свойств для материала марки			
	КМКУ-6.80. SYT49(S).45	КМКС-6.80. T60(ВМП).37	КМКУ-6.80. SYT49(S).65	КМКС-6.80. T60(ВМП).55
Содержание клеевого связующего в препреге, %	35–45	37–45	55–65	55–65
Предел прочности при сдвиге клеевых соединений из алюминиевого сплава Д16-АТ (или Д19-АТ) при температуре 20±2 °С, МПа (не менее)	–	–	20,0	20,0
Предел прочности при равномерном отрыве обшивки от сот из фольги АМг2Н с ячейкой 2,5 мм при температуре 20±2 °С, МПа (не менее)	–	–	3,9	3,9
Предел прочности при растяжении при температуре 20±2 °С, МПа (не менее)	1400	1300	–	–
Предел прочности при сжатии при температуре 20±2 °С, МПа (не менее)	900	550	–	–

По результатам исследований разработаны технические условия на клеевые угле- и стеклопрепреги:

- ТУ 1-595-11-1775–2018 «Препрег клеевой марки КМКУ-6.80.SYT49(S)»;
- ТУ 1-595-11-1776–2018 «Препрег клеевой марки КМКС-6.80.T60(ВМП)».

Разработанные технические условия на клеевые препреги регламентируют показатели качества, представленные в табл. 4.

Автоклавным методом формования изготовлены плиты из углепластика ВКУ-59 и стеклопластика ВПС-68 на основе клеевых препрегов марок КМКУ-6.80.SYT49(S) и КМКС-6.80.T60(ВМП).

Проведено исследование свойств углепластика и стеклопластика, изготовленных на основе клеевых препрегов, которые представлены в табл. 5.

Таблица 5

Механические свойства углепластика ВКУ-59 и стеклопластика ВПС-68 со схемой армирования [0]_n при температуре испытания 20 и 80 °С

Свойства	Значения свойств для материала			
	ВКУ-59		ВПС-68	
	при температуре испытания, °С			
	20	80	20	80
Предел прочности при растяжении, МПа (по ГОСТ Р 56785–2015)	2550	2385	1430	1275
Модуль упругости при растяжении, ГПа (по ГОСТ Р 56785–2015)	125	126	46	45
Относительное удлинение при растяжении, % (по ГОСТ Р 56785–2015)	2,0	1,9	3,1	2,8
Предел прочности при сжатии, МПа (по ГОСТ 33519–2015)	1050	850	770	635
Модуль упругости при сжатии, МПа (по ГОСТ 33519–2015)	128	124	58	54
Предел прочности при поперечном изгибе, МПа (по ГОСТ 56810–2015)	1380	910	1345	760
Модуль упругости при поперечном изгибе, ГПа (по ГОСТ 56810–2015)	123	106	53	51
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа (по ГОСТ 32659–2014)	49	47	77	49

Результаты испытаний образцов углепластика ВКУ-59 и стеклопластика ВПС-68 на горючесть по АП-25, Приложение F, Часть I, п. 853 (а) и на дымообразование по АП-25, Приложение F, Часть V, п. 853 (d) представлены в табл. 6.

Таблица 6

Горючесть углепластика ВКУ-59 и стеклопластика ВПС-68

Материал	Толщина образца, мм	Классификация
Углепластик ВКУ-59	1,11	Отвечают требованиям АП-25, Приложение F, Часть I – трудносгорающие
	2,10	
	3,99	
Стеклопластик ВПС-68	1,23	
	2,28	
	4,18	

Установлено, что образцы из углепластика ВКУ-59 и стеклопластика ВПС-68 по горючести отвечают требованиям АП-25, Приложение F, Часть I, п. 853 (а), а по дымообразованию относятся к классу V – сильнодымящие.

Для снижения весовых характеристик трехслойных сотовых конструкций панелей пола четырех зон проведена оптимизация их конструктивно-технологического облика (структуры и геометрических параметров) с учетом характерных случаев их нагружения.

Проведены испытания образцов трехслойных сотовых конструкций панелей пола с обшивками из углепластика ВКУ-59 и стеклопластика ВПС-68 на горючесть согласно АП-25. Результаты представлены в табл. 7.

Таблица 7

Результаты испытаний на горючесть образцов трехслойных сотовых конструкций панелей пола с обшивками из углепластика ВКУ-59 и стеклопластика ВПС-68

Материал	Толщина образца, мм	Продолжительность экспозиции пламенем горелки, с	Продолжительность остаточного горения, с	Длина обугливания, мм	Продолжительность горения капель, с	Классификация
Трехслойная сотовая панель с обшивкой из углепластика ВКУ-59	10,23	60	0	5	0	Трудно-сгорающий
	10,31		0	12	0	
	10,31		0	11	0	
Трехслойная сотовая панель с обшивкой из стеклопластика ВПС-68	10,10	60	0	79	0	Трудно-сгорающий
	10,04		0	77	0	
	10,04		0	96	0	
Допустимые значения по АП-25, п. 853 (а)			Не более 15	Не более 152	Не более 3	–

Установлено, что образцы трехслойных сотовых конструкций панелей пола с обшивками из клеевых препрегов угле- и стеклопластиков на основе клеевого связующего марки ВСК-14-6 отвечают требованиям АП-25, Приложение F, Часть I.

Проведена сравнительная оценка образцов трехслойных сотовых конструкций панелей пола с обшивками из углепластика ВКУ-59 и стеклопластика ВПС-68

в сопоставлении с существующими панелями пола для изделий Ил-114, Ил-96, Ту-204, Ту-214. Результаты представлены в табл. 8.

Таблица 8

Сравнительная оценка трехслойных сотовых панелей пола

Авиационные изделия и импортозамещение	Материал, примененный для			Масса 1 м ² , кг
	верхней обшивки	нижней обшивки	заполнителя	
Ил-96	Стеклотекстолит КАСТ-ВС	Углепластик пониженной горючести КМУ-3	Сотопласт ПСП-1	3,4–3,8
Ил-114	Стеклопластик на основе эпоксидного связующего		Полимерный сотовый наполнитель	2,8–3,6
Ту-204	Высокомодульный стеклопластик		То же	2,5–5,2
Разработки ВИАМ	Клеевой углепластик ВКУ-59		–«–	2,5–3,6
	Клеевой стеклопластик ВПС-68		–«–	2,5–3,8

Сравнительная оценка трехслойных сотовых 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) в совокупности с обеспечением требуемых характеристик.

Заключения

Использование российских препрегов на основе связующего пониженной горючести ВСК-14-6 и стекло- и угленаполнителей (стеклянные ткани либо углеродные жгут или лента, или ткань) позволит получить конструкционные ПКМ с толщиной монослоя 0,13–0,28 мм, с необходимыми технологическими и эксплуатационными свойствами, позволяющими изготовить высоконагруженные сотовые (слоистые) конструкции одинарной и сложной кривизны, предназначенные, в частности, для конструкции пола, а также агрегатов наружного контура летательного аппарата. Клеевое эпоксидное связующее образует при отверждении при температуре 100–140 °С полимерную матрицу с высокими прочностными свойствами и пониженной горючестью. Низкая температура отверждения (до 140 °С) связующего ВСК-14-6 (за счет введения в его состав латентного отвердителя аминного типа с катализаторами отверждения) сочетается с высокой жизнеспособностью, что обеспечивает препрегам, в составе которых используются стекло- и угленаполнители и связующее ВСК-14-6, срок хранения при температуре от 0 до +8 °С не менее 6 мес.

Еще одним достоинством таких препрегов является реализация высокоэффективной технологии сборки слоистых клеевых сотовых конструкций из неметаллических материалов, отличительная особенность которой – одновременное (за одну технологическую операцию) формование обшивки и ее приклеивание к сотовому наполнителю.

Новый тип трехслойных сотовых панелей пола с обшивками из угле- или стеклопластиков на основе клеевого препрега и полимерного сотового наполнителя различной плотности позволяет достичь массы 1 м² панелей пола в диапазоне от 2,5 до 3,6 кг в зависимости от места установки. Материалы обшивок обладают высокой удельной прочностью и жесткостью, а также пониженной горючестью, что делает конструкции трехслойных сотовых панелей пола на их основе конкурентоспособными по отношению к ПКМ фирмы Hexcel (США).

Список источников

1. Раскутин А.Е. Стратегия развития полимерных композиционных материалов // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. № S. С. 344–348. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-344-348.
2. 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.
3. Каблов Е.Н. Россия на рынке интеллектуальных ресурсов // *Эксперт*. 2015. № 28 (951). С. 48–51.
4. Барботько С.Л., Вольный О.С., Кириенко О.А., Шуркова Е.Н. Оценка пожаробезопасности полимерных материалов авиационного назначения / под общ. ред. Е.Н. Каблова. М.: ВИАМ, 2018. 424 с.
5. Барботько С.Л., Дементьева Л.А., Сереженков А.А. Горючесть стекло- и углепластиков на основе клеевых препрегов // *Клеи. Герметики. Технологии*. 2008. № 7. С. 29–31.
6. Лукина Н.Ф., Дементьева Л.А., Петрова А.П., Аниховская Л.И. Клеящие материалы в конструкции лопастей вертолетов // *Труды ВИАМ*. 2016. № 7 (43). Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 29.05.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-7-7-7.
7. Дульнев Г.Н., Заричняк Ю.П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов: справочник. Л.: Энергия, 1974. 264 с.
8. Куцевич К.Е., Дементьева Л.А., Лукина Н.Ф., Тюменева Т.Ю. Клеевые препреги – перспективные материалы для деталей и агрегатов из ПКМ // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. № S. С. 379–387. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-379-387.
9. Препрег на основе клеевого связующего пониженной горючести и стеклопластик, углепластик на его основе: пат. 2676634 Рос. Федерация; заявл. 19.04.18; опубл. 09.01.19.
10. Полимерное связующее, композиционный материал на его основе и способ его изготовления: пат. 2223988 Рос. Федерация; заявл. 19.11.01; опубл. 20.02.04.
11. Композиционный материал и изделие, выполненное из него: пат. 2276638 Рос. Федерация; заявл. 14.12.04; опубл. 20.05.06.
12. Огнестойкая полимерная композиция и изделие, выполненное из нее: пат. 2254349 Рос. Федерация; заявл. 30.12.03; опубл. 20.06.05.
13. Огнестойкая полиамидная композиция: пат. 2200744 Рос. Федерация; заявл. 27.06.00; опубл. 20.03.03.
14. Brominated polymers as FR additives and polymer systems containing same: pat. 8242183 US; filed 30.01.09; publ. 14.08.12.
15. Ignition resistant carbonate polymer composition: pat. 8357441 US; filed 29.07.09; publ. 22.01.13.
16. 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 // *Всерос. науч.-техн. конф. «Полимерные композиционные материалы нового поколения и технологии их переработки»*. М.: ВИАМ, 2020. С. 69–81.
17. Душин М.И., Ермолаев А.М., Котырев И.Я. и др. Углепластики в панелях пола трехслойной конструкции // *Авиационная промышленность*. 1978. № 6. С. 8–12.
18. Шокин Г.И., Шершак П.В., Андриянина М.А. Опыт разработки и освоения производства сотовых панелей пола из отечественных материалов // *Авиационная промышленность*. 2017. № 1. С. 32–40.
19. Шершак П.В., Косарев В.А., Рябовол Д.Ю. Гибридные обшивки в сэндвич-конструкциях панелей пола летательных аппаратов // *Авиационные материалы и технологии*. 2018. № 3 (52). С. 35–41. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-3-35-41.
20. Баранников А.А., Вешкин Е.А., Постнов В.И., Стрельников С.В. К вопросу производства панелей пола из ПКМ для летательных аппаратов // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2017. Т. 19. № 4. С. 198–213.
21. Комаров В.А., Куцевич К.Е., Павлова С.А., Тюменева Т.Ю. Оптимизация трехслойных сотовых панелей пола из полимерных композиционных материалов пониженной горючести на основе высокопрочных углеродных и стеклянных волокон и клеевого связующего // *Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение*. 2020. Т. 19. № 3. С. 51–72. DOI: 10.18287/2541-7533-2020-19-3-51-72.

22. Каблов Е.Н. Авиационное материаловедение // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2008. № 3. С. 2–14.
23. Каблов Е.Н., Чурсова Л.В., Бабин А.Н., Мухаметов Р.Р., Панина Н.Н. Разработки ФГУП «ВИАМ» в области расплавных связующих для полимерных композиционных материалов // Полимерные материалы и технологии. 2016. Т. 2. № 2. С. 37–42.
24. Komarov V.A. Theoretical basis for design of load-bearing structures produced using additive technologies // *Ontology of Designing*. 2017. Vol. 7. No. 2 (24). P. 191–206. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-2-191-206.
25. Малышева Г.В., Гращенко Д.В., Гузева Т.А. Оценка технологичности использования клеев и клеевых препрегов при изготовлении трехслойных панелей // Авиационные материалы и технологии. 2018. № 4 (53). С. 26–30. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-4-26-30.
26. Сарычев И.А., Серкова Е.А., Хмельницкий В.В., Застрогина О.Б. Термореактивные связующие для материалов панелей пола летательных аппаратов (обзор) // Труды ВИАМ. 2019. № 7 (79). Ст. 03. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 29.05.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-7-26-33.

References

1. 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.
2. 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.
3. Kablov E.N. Russia in the market of intellectual resources. *Ekspert*, 2015, no. 28 (951), pp. 48–51.
4. Barbotko S.L., Volny O.S., Kirienko O.A., Shurkova E.N. *Evaluation of fire safety of polymeric materials for aviation purposes*. Ed. E.N. Kablov. Moscow: VIAM, 2018, 424 p.
5. Barbotko S.L., Dement'eva L.A., Serezhenkov A.A. Combustibility of glass and carbon plastics based on adhesive prepregs. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2008, no. 7, pp. 29–31.
6. Lukina N.F., Dementeva L.A., Petrova A.P., Anihovskaya L.I. Gluing materials in the design of blades of helicopters. *Trudy VIAM*, 2016, no. 7, paper no. 07. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: May 29, 2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-7-7-7.
7. Dulnev G.N., Zarichnyak Yu.P. *Thermal conductivity of mixtures and composite materials: reference book*. Leningrad: Energiya, 1974, 264 p.
8. Kutsevich K.E., Dementeva L.A., Lukina N.F., Tyumeneva T.Yu. Adhesive prepregs as promising materials for parts and assemblies from polymeric composite materials. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. S, pp. 379–387. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-379-387.
9. *Prepreg based on low flammability adhesive binder and fiberglass, carbon fiber based on it*: pat. 2676634 Rus. Federation; filed 19.04.18; publ. 09.01.19.
10. *Polymer binder, composite material based on it and method for its manufacture*: pat. 2223988 Rus. Federation; filed 19.11.01; publ. 20.02.04.
11. *Composite material and product made from it*: pat. 2276638 Rus. Federation; filed 14.12.04; publ. 20.05.06.
12. *Fire-resistant polymer composition and product made from it*: pat. 2254349 Rus. Federation; filed 30.12.03; publ. 20.06.05.
13. *Fire-resistant polyamide composition*: pat. 2200744 Rus. Federation; filed 27.06.00; publ. 20.03.03.
14. *Brominated polymers as FR additives and polymer systems containing the same*: pat. US 8242183; filed 30.01.09; publ. 14.08.12.
15. *Ignition resistant carbonate polymer composition*: pat. US 8357441; filed 29.07.09; publ. 22.01.13.
16. Starkov A.I., Kutsevich K.E., Tyumeneva T.Yu., Komarov V.A. Development of composite materials based on adhesive prepregs of reduced flammability and requirements for the mechanical characteristics of PCM, taking into account the scope. *All-Rus. Sc-tech. conf. "Polymer composite materials of a new generation and technologies for their processing"*. Moscow: VIAM, 2020, pp. 69–81.

17. Dushin M.I., Ermolaev A.M., Kotyrev I.Ya. et al. CFRP in floor panels of a three-layer structure. *Aviatsionnaya promyshlennost*, 1978, no. 6, pp. 8–12.
18. Shokin G.I., Shershak P.V., Andryunina M.A. Experience in the development and development of the production of honeycomb floor panels from domestic materials. *Aviatsionnaya promyshlennost*, 2017, no. 1, pp. 32–40.
19. Shershak P.V., Kosarev V.A., Ryabovol D.Yu. Hybrid facings in sandwich-construction of aviation floor panels. *Aviatsionnye materialy i tekhnologii*, 2018, no. 3, pp. 35–41. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-3-35-41.
20. Barannikov A.A., Veshkin E.A., Postnov V.I., Strelnikov S.V. On the issue of production of floor panels from PCM for aircraft. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2017, vol. 19, no. 4, pp. 198–213.
21. Komarov V.A., Kutsevich K.E., Pavlova S.A., Tyumeneva T.Yu. Optimization of three-layer honeycomb floor panels from polymer composite materials of low flammability based on high-strength carbon and glass fibers and adhesive binder. *Vestnik Samarskogo universiteta. Aero-kosmicheskaya tekhnika, tekhnologii i mashinostroyeniye*, 2020, vol. 19, no. 3, pp. 51–72. DOI: 10.18287/2541-7533-2020-19-3-51-72.
22. Kablov E.N. Aviation materials science. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik*, 2008, no. 3, pp. 2–14.
23. Kablov E.N., Chursova L.V., Babin A.N., Mukhametov R.R., Panina N.N. Developments of FSUE "VIAM" in the field of melt binders for polymer composite materials. *Polimernye materialy i tekhnologii*, 2016, vol. 2, no. 2, pp. 37–42.
24. Komarov V.A. Theoretical basis for design of load-bearing structures produced using additive technologies. *Ontology of Designing*, 2017, vol. 7, no. 2 (24), pp. 191–206. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-2-191-206.
25. Malysheva G.V., Grashchenkov D.V., Guzeva T.A. Evaluation of technological use efficiency of adhesives and glue prepregs in the manufacture of three-layer panels. *Aviatsionnye materialy i tekhnologii*, 2018, no. 4 (53), pp. 26–30. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-4-26-30.
26. Sarychev I.A., Serkova E.A., Khmelnskiy V.V., Zastrogin O.B. Thermosetting binders for aircraft floor panel materials (review). *Trudy VIAM*, 2019, no. 7 (79), paper no. 03. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: May 29, 2021). DOI: 10.18577/2307-6049-2019-0-7-26-33.

Информация об авторах

Старков Алексей Игоревич, инженер 1 категории, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Куцевич Кирилл Евгеньевич, начальник сектора, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Тюменева Татьяна Юрьевна, заместитель начальника лаборатории, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Петрова Алефтина Петровна, главный научный сотрудник, д.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Information about the authors

Alexey I. Starkov, First Category Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Kirill E. Kutsevich, Head of Sector, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Tatiana Yu. Tyumeneva, Deputy Head of Laboratory, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Aleffina P. Petrova, Chief Researcher, Doctor of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 21.12.2022; одобрена и принята к публикации после рецензирования 08.02.2022.
The article was submitted 21.12.2022; approved and accepted for publication after reviewing 08.02.2022.