

Научная статья

УДК 678.8

DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-12-66-74

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ ТРЕХСЛОЙНЫХ СОТОВЫХ ПАНЕЛЕЙ

Ю.И. Судьин¹, Р.К. Салахова¹, Ан.Р. Галиуллин¹, Р.С. Савицкий¹

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

Аннотация. Представлены результаты исследований поверхностного натяжения расплавленного клеевого связующего марки ВСК-14-6 при помощи процессорного тензиометра. В результате измерения краевых углов смачивания в тестовых жидкостях получены расчетные значения свободных энергий поверхностей исследуемых твердых тел (полимерсотопласт и углеродное волокно UMT42S-3K-EP), в том числе и после обработки плазмой атмосферного давления. Полученные величины свободной энергии поверхности использованы при оценке смачивающей способности твердых тел и адгезии их к связующему.

Ключевые слова: трехслойная сотовая панель, сотовый наполнитель, углеродное волокно, клеевое связующее, краевой угол смачивания, метод Вашбурна, плазма атмосферного давления, адгезия

Для цитирования: Судьин Ю.И., Салахова Р.К., Галиуллин Ан.Р., Савицкий Р.С. Исследование поверхностно-энергетических характеристик элементов трехслойных сотовых панелей // Труды ВИАМ. 2024. № 12 (142). Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-12-66-74.

Scientific article

STUDY OF SURFACE-ENERGY CHARACTERISTICS OF ELEMENTS OF THREE-LAYER HONEYCOMB PANELS

Yu.I. Sudin¹, R.K. Salakhova¹, An.R. Galiullin¹, R.S. Savitsky¹

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 results of research of surface tension of melt adhesive binder VSK-14-6 using a processor tensiometer are presented. As a result of measuring the wetting edge angles in test liquids, the calculated values of surface free energies (SFE) of the studied solids (polymer-sotoplastic and carbon fiber UMT42S-3K-EP) were obtained, including after treatment with atmospheric pressure plasma. The obtained SFE values were used to evaluate the wetting ability of the solids and their adhesion to the binder.

Keywords: three-layer honeycomb panel, honeycomb filler, carbon fiber, edge wetting angle, Washburne method, atmospheric pressure plasma, adhesion

For citation: Sudin Yu.I., Salakhova R.K., Galiullin An.R., Savitsky R.S. Study of surface-energy characteristics of elements of three-layer honeycomb panels. *Trudy VIAM*, 2024, no. 12 (142), paper no. 06. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-12-66-74.

Введение

В настоящее время разработки, связанные с авиационной промышленностью, сложно представить без применения полимерных композиционных материалов (ПКМ), широкое использование которых связано, прежде всего, с сочетанием таких уникальных свойств, как высокая прочность, жесткость, низкая масса и коррозионная стойкость [1]. В конструкции современных летательных аппаратов широко используются ПКМ, а в некоторых случаях их суммарная доля от общего объема применяемых материалов составляет >60 % [2]. Материалы нового поколения – основа инноваций, технологического лидерства и национальной безопасности России [3, 4]. Одна из важнейших задач, которую в первую очередь можно разрешить с помощью ПКМ, – увеличение весовой эффективности конструкций. Рассматривать данную задачу особенно важно для конструкций, составляющих существенную часть летательного аппарата. К этим изделиям можно отнести панели пола современных пассажирских самолетов, которые представляют собой конструкции, состоящие, как правило, из двух несущих слоев (обшивок) и сотового наполнителя, расположенного между обшивками. Структурным элементом трехслойной конструкции является также опционально добавляемый адгезионный слой и полимерный сферопласт-наполнитель для заделки торцов панелей пола и заполнения зон установки крепежных элементов. До активного внедрения ПКМ панели пола изготавливали в виде трехслойной конструкции с обшивками из фанеры, стеклопластика (КАСТ-В), алюминия и с наполнителем в виде пенопласта или алюминиевых сот [5]. Средняя масса 1 м² подобных панелей пола варьируется от 4,2 до 5,6 кг в зависимости от места установки в самолете. Использование ПКМ нового поколения позволяет добиться среднего снижения массы 1 м² панелей пола на ~(1,8–2,1) кг.

В отечественном авиастроении принято подразделять панели пола на четыре основных типа по зонам их расположения в воздушном судне: I тип – подкресельные, II тип – зона проходов, III тип – зона входов-выходов и кухни, IV тип – зона багажного отсека. К каждому из типов предъявляются особые требования по физико-механическим, габаритно-массовым и пожаробезопасным характеристикам, которые обуславливаются в основном позонной эксплуатационной нагрузкой, конструктивными особенностями воздушного судна и стремлением к обеспечению безопасности людей и минимизации материального ущерба.

Следует упомянуть, что конструктивно-силовые схемы панелей пола могут быть как силовыми (воспринимающими нагрузку через каркас), так и не участвующими в распределении напряжений, т. е. в виде настила. В настоящее время внимание разработчиков современных воздушных судов направлено именно на силовую составляющую панелей пола, ввиду чего материалы и конструктивные решения, применяемые ранее для панелей пола в виде настила, не соответствуют требованиям к механическим свойствам для новых панелей пола [6]. Примером подобной ситуации могут служить заготовки панелей пола разработки НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ для самолета Ил-114, которые используются в качестве настила [7].

За последние десять лет на различных предприятиях отрасли ведутся работы по созданию отечественных панелей пола для современных самолетов – например, Ил-114-300, SSJ New и MC-21. В НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ в 2021 г. в рамках импортозамещения завершена научно-исследовательская работа, направленная на замену заготовок панелей пола типа UNS производства фирмы AIM Altitude UK Ltd на аналогичные отечественные заготовки производства НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ.

Создание материалов нового поколения, разработка и внедрение импортозамещающих технологий – один из путей для осуществления суверенитета России в условиях

перехода страны к шестому технологическому укладу [8, 9]. Государственная политика импортозамещения в области гражданского авиастроения РФ ставит новые задачи по разработке заготовок панелей пола, состоящих из отечественных компонентов. Значение подобных работ велико для предприятий, эксплуатирующих самолетную технику, так как после введения западными странами всеобъемлющих запретительных санкций усложнилась либо вовсе прекратилась доставка материалов, комплектующих и деталей для иностранных воздушных судов [10]. При проведении технического обслуживания и ремонта такой техники нередко требуется полная замена панелей пола, однако сделать это в настоящее время достаточно проблематично. Для разрешения сложившейся ситуации организациям, эксплуатирующим авиационную технику, необходимо создание собственного производства панелей пола или приобретение уже готового решения. Тем не менее в обоих случаях они вынуждены будут столкнуться со сложностями при сертификации отечественных панелей пола для иностранных воздушных судов.

С учетом вышеприведенных аргументов можно видеть, что разработка отечественных заготовок панелей пола под конструктивно-силовую схему современного самолета и по настоящее время остается важной задачей. На данный момент ориентиром при разработке таких заготовок, предназначенных для силовых конструкций современных самолетов (например, для МС-21) являются заготовки панелей пола фирмы Gill, имеющие высокий уровень физико-механических свойств, а именно таких, как усилие отслаивания обшивки от сотового заполнителя, которое характеризует качество склеивания основных элементов трехслойной панели друг с другом [11].

На усилие отслаивания обшивки влияет достаточно большое количество факторов. Однако при создании ПКМ основное значение для обеспечения необходимых свойств композита имеет сродство используемых материалов, определяемое и зависящее главным образом от поверхностно-энергетических характеристик компонентов таких материалов.

Цель данной работы – оценка адгезии твердых материалов (сотового заполнителя и углеволокна) к расплавному клеевому связующему ВСК-14-6 путем вычисления их свободной энергии поверхности.

Материалы и методы

Объекты исследования – углеродное волокно марки UMT42S-3K-EP, расплавленное клеевое связующее марки ВСК-14-6, полимерсотопласт марки ПСП-1-2 (96). Исследования поверхностно-энергетических характеристик проводили при помощи процессорного тензиометра. Измерения краевых углов смачивания для углеродного волокна и полимерсотопласта осуществляли в автоматическом режиме. Для исследования краевых углов смачивания углеволокна применяли метод Вашбурна, заключающийся в поднятии жидкостей для тестирования по капиллярам, образованным филаментами углеродного волокна. В качестве капилляра-прободержателя использована фторопластовая трубка с внутренним диаметром 2 мм [12]. В случае с измерением краевых углов смачивания полимерсотопласта в жидкостях для тестирования от шестиугольной сотовой ячейки отсекали одну из граней и с ее помощью проводили измерение по частному случаю для метода пластины Вильгельми. Поверхностное натяжение расплавленного связующего определяли при температуре 105 ± 2 °С методом пластины Вильгельми, представляющей собой платинированный образец металла, полностью смачиваемый связующим за счет высокой поверхностной энергии платины [13].

Свободную энергию поверхности рассчитывали на основании полученных краевых углов смачивания соответствующего материала в жидкостях для тестирования и модели Оунса–Вендта–Рабея–Кьельбле (ОВРК). Согласно этой модели, свободную

энергию поверхности можно представить в виде дисперсионной (отвечающей за слабые взаимодействия молекул твердого тела) и полярной (отвечающей за сильные взаимодействия и водородные связи) составляющих [14].

Расчеты полярности и работы адгезии связующего к твердым телам проведены с помощью рабочей среды Advance на основании полученных значений свободной энергии поверхности для исследуемых материалов.

Для активации (модификации) поверхностей твердых тел проведена их обработка плазмой атмосферного давления, которая представляет собой однородную и беспотенциальную плазму высокой плотности, полученную путем прохождения плазмообразующего газа (сжатого воздуха) через электрический разряд, генерируемый высоким напряжением. С помощью программного обеспечения станка с ЧПУ задавали следующие параметры: шаг обработки 2 мм, скорость обработки 90 мм/с, высота факела 6 мм, относительная мощность 65 %, расход плазмообразующего газа 18,5 л/мин.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ.

Результаты и обсуждение

В табл. 1 представлены результаты исследования поверхностного натяжения расплавленного клеевого связующего марки ВСК-14-6 при температуре 105 ± 2 °С методом пластины Вильгельми на процессорном тензиометре в автоматическом режиме измерения.

Таблица 1

Поверхностное натяжение расплавленного клеевого связующего марки ВСК-14-6 при температуре 105 ± 2 °С

Поверхностное натяжение, мН/м		Полярность, %
дисперсионная составляющая	полярная составляющая	
5,13±0,14	25,37±1,07	83,18
Σ30,5		

Из представленных данных видно существенное преобладание полярной составляющей поверхностного натяжения над дисперсионной, что также показывает расчетное значение полярности связующего. В соответствии с теорией смачивания слабополярных материалов, в том числе и полимеров, эффективность смачивания и адсорбции определяется соотношением дисперсионной и полярной составляющих поверхностного натяжения для жидкости. Согласно модели ОВРК, свободная энергия поверхности пропорциональна поверхностному натяжению жидкости, полностью смачивающей эту поверхность. Максимальные значения адгезии достигаются при условном равенстве свободной энергии поверхности твердого тела и поверхностного натяжения жидкости, а также имеет значение, в каком соотношении они делятся на полярную и дисперсионную составляющие. Для полимеров (особенно полимерных пленок) вклад дисперсионной и полярной составляющих зависит не только от структуры полимерных цепей, но и от морфологии поверхности, на которую оказывает влияние достаточно большое количество факторов.

С учетом вышеприведенных данных, согласно модели ОВРК, рассчитаны свободные энергии поверхности для углеволокна и полимерсотопласта и их полярные и дисперсионные составляющие. Для выполнения расчета предварительно определяли краевые углы смачивания соответствующих материалов в жидкостях для тестирования (в воде и гексане) по методу Вашбурна (для углеродного волокна) и по частному случаю пластины Вильгельми (для сотового заполнителя). В плазме атмосферного давления проведена обработка поверхностей исследуемых твердых материалов с последующим

измерением краевых углов смачивания и расчетом значений свободной энергии поверхности. Результаты измерений и расчетов представлены на рис. 1 и в табл. 2.

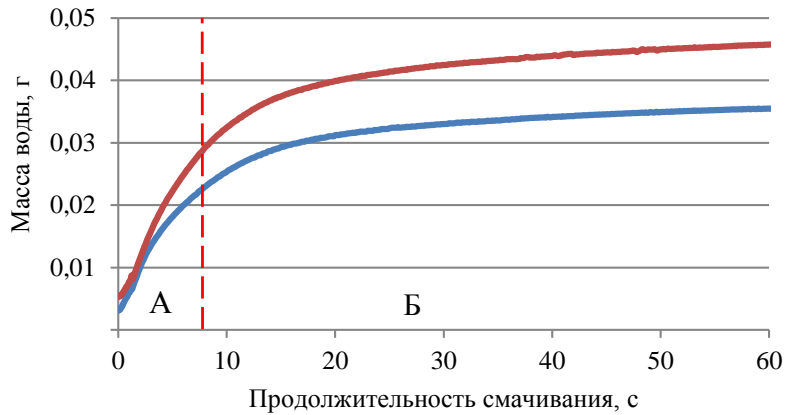


Рис. 1. Кинетические кривые смачивания углеродного волокна в воде до (—) и после обработки (—) плазмой атмосферного давления

Видно, что представленные кривые адсорбции характерны для измерения по методу Вашбурна. На обеих кривых наблюдаются два условных участка (А и Б), демонстрирующих стремительный прирост массы воды по времени в капилляре, что соответствует непосредственному процессу смачивания (участок А) и постепенному замедлению набора массы в пробе – выход на плато влагопоглощения для углеродного волокна в исследуемом капилляре (участок Б). При помощи математического аппарата, заложенного в процессорный тензиометр, вычислены значения краевых углов смачивания углеродного волокна.

Таблица 2

Поверхностно-энергетические характеристики сотового заполнителя и углеродного волокна до и после обработки плазмой атмосферного давления

Материал	Краевой угол смачивания		Свободная энергия поверхности, мН/м* дисперсионная/полярная составляющие	Полярность, %
	в воде	в гексане		
В исходном состоянии				
Сотовый заполнитель ПСП-1-2 (96)	105±3,27	47,55±2,11	<u>15,67±1,24</u> 13,54±0,44/2,13±0,80	13,6
Углеродное волокно UMT42S-3К-EP	79,46±1,80	25,35±0,09	<u>28,85±2,09</u> 17,49±0,96/11,36±1,13	39,4
После обработки плазмой атмосферного давления				
Сотовый заполнитель ПСП-1-2 (96)	71,71±7,12	15,96±0,09	<u>34,10±4,60</u> 18,56±0,01/15,54±4,59	45,6
Углеродное волокно UMT42S-3К-EP	71,74±5,39	16,93±0,82	<u>34,05±3,56</u> 18,47±0,08/15,58±3,48	45,7
* В числителе – суммарное значение составляющих.				

Видно, что и в сотовом заполнителе, и в углеродном волокне свободная энергия поверхности проявляется в основном за счет дисперсионной составляющей. Однако после обработки поверхностей твердых тел плазмой атмосферного давления за счет тонкой очистки (и прежде всего функционализации поверхности исследуемого материала) наблюдается существенное увеличение значений свободной энергии поверхности преимущественно за счет полярной части [15]. По-видимому, это связано с тем, что на границе раздела фаз распределяются функциональные группы, способствующие

нарастанию сильных взаимодействий (донорно-акцепторных, ориентационных, индукционных и др.) системы «исследуемое твердое тело–жидкость для тестирования». Вследствие этого увеличиваются значения свободной энергии поверхности, проявлением этого является улучшенная смачиваемость твердого тела. По классификации, приведенной в работе [16], исследуемые поверхности углеродного волокна и полимерсотопласта относятся к низкоэнергетическим, причем даже после обработки плазмой атмосферного давления, при которой значения свободной энергии поверхности составляют ≤ 60 мН/м.

На основе этих вычисленных значений свободной энергии поверхности твердых тел и поверхностного натяжения связующего в рабочей среде Advance при помощи программы «анализ сцепления» проведен расчет адгезии углеродного волокна и полимерсотопласта к расплавному связующему марки ВСК-14-6. Результаты расчета приведены в табл. 3.

Таблица 3

Расчетные значения адгезии сотового заполнителя и углеродного волокна к клевоому связующему марки ВСК-14-6

Материал	Работа адгезии, мН/м	
	в исходном состоянии	после обработки плазмой атмосферного давления
Сотовый заполнитель ПСП-1-2 (96)	31,37	59,23
Углеродное волокно UMT42S-3K-EP	52,90	59,18

Согласно полученным результатам, расчетная адгезия связующего ВСК-14-6 к полимерсотопласту выросла в $\sim 1,9$ раза, в то время как для углеродного волокна результат оказался менее значительным. В данном случае следует отметить бесполезность плазменной обработки, поскольку расчетная адгезия связующего к исходному углеволокну и без того находится на хорошем уровне. Наглядно проиллюстрирована разница в свободной энергии поверхности и адгезии связующего к исследуемым твердым материалам на гистограмме рис. 2.

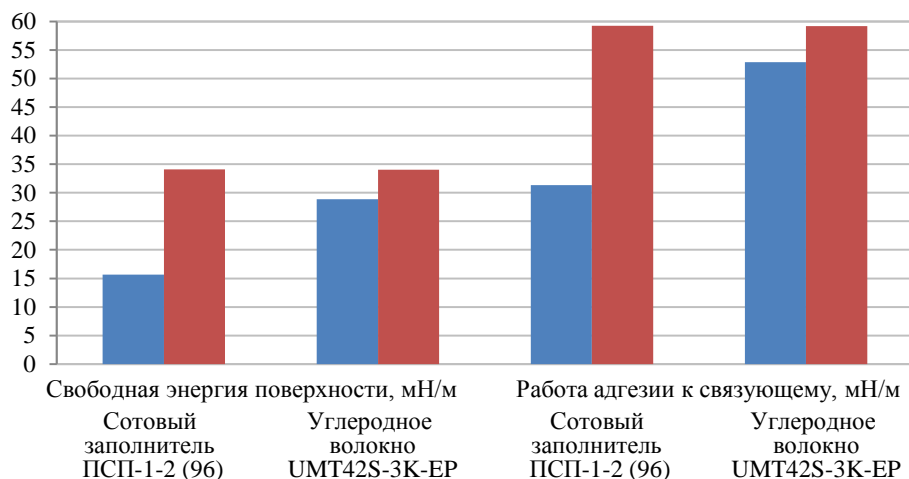


Рис. 2. Гистограмма зависимости свободной энергии поверхности и работы адгезии связующего к полимерсотопласту и углеродному волокну в исходном состоянии (■) и после обработки плазмой атмосферного давления (■)

При прогнозировании свойств ПКМ не следует напрямую соотносить значения работы адгезии жидкого связующего к твердому телу и адгезионной прочности фаз «отвержденное связующее–волокно», «отвержденное связующее–полимерсотопласт» [17]. Связано это с тем, что при отверждении связующего работа адгезии будет изменяться вследствие протекания химических реакций на поверхности раздела фаз и переориентации

макромолекул связующего к поверхности волокна с минимизацией межфазной энергии поверхности раздела. Возникновение дефектов на границе раздела за счет внутренних напряжений или изменения фазового состава и структуры поверхностного слоя также будет оказывать влияние на смачивающую способность связующего.

Дальнейшие исследования будут направлены на сравнение теоретически рассчитанной работы адгезии связующего к волокну и практических результатов оценки адгезионной прочности клеевых соединений, полученных посредством проведения механических испытаний трехслойных сотовых конструкций [18], в частности на отслаивание.

Заключения

С помощью процессорного тензиометра проведено измерение поверхностного натяжения клеевого связующего ВСК-14-6 с определением его полярной и дисперсионной составляющих, а также изучены поверхностно-энергетические характеристики углеродного волокна UMT42S-3K-EP и полимерсотопласта ПСП-1-2 (96).

Дополнительная обработка поверхностей сотового заполнителя ПСП-1-2 (96) и углеродного волокна UMT42S-3K-EP плазмой атмосферного давления значительно повышает их адгезию (в 1,9 раза) к расплавному клеевому связующему ВСК-14-6, что особенно эффективно для материала сотового заполнителя.

Исследования поверхностных явлений связующего и измерения поверхностно-энергетических характеристик твердых тел трехслойных сотовых панелей можно использовать как косвенный способ качественной оценки адгезионной прочности клеевых соединений сотовых конструкций.

Работа проводилась при Финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Министерство) в рамках Соглашения № 075-11-2023-056 между Министерством и Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» на основании Распоряжения Правительства Российской Федерации № 1789-р от 04 июля 2023 г. об утверждении комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Новые композиционные материалы: технологии конструирования и производства».

Список источников

1. Каблов Е.Н. Композиты: сегодня и завтра // Металлы Евразии. 2015. № 1. С. 36–39.
2. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения – основа инноваций, технологического лидерства и национальной безопасности России // Интеллект и технологии. 2016. № 2 (14). С. 16–21.
3. Вешкин Е.А., Сатдинов Р.А., Баранников А.А. Современные материалы для салона самолета // Труды ВИАМ. 2021. № 9 (103). Ст. 04. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 25.09.2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-9-33-42.
4. Мухаметов Р.Р., Петрова А.П. Термореактивные связующие для полимерных композиционных материалов (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2019. № 3 (56). С. 48–58. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-3-48-58.
5. Баранников А.А., Вешкин Е.А., Постнов В.И., Стрельников С.В. К вопросу производства панелей пола из ПКМ для летательных аппаратов (обзорная статья) // Известия Самарского научного центра РАН. 2017. № 4 (2). С. 198–213.
6. Ерасов В.С., Сибяев И.Г. Схема разработки и оценки свойств конструкционных авиационных композиционных материалов // Авиационные материалы и технологии. 2023. № 1 (70). Ст. 05. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 25.09.2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-1-61-81.
7. Тимошков П.Н., Колобков А.С., Курносоев А.О., Гончаров В.А. Препреги на основе расплавных связующих и ПКМ нового поколения на их основе для изделий авиационной техники // Материалы V Всерос. науч.-техн. конф. «Полимерные композиционные материалы и производственные технологии нового поколения». М.: НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, 2021. С. 7–20.

8. Каблов Е.Н., Антипов В.В. Роль материалов нового поколения в обеспечении технологического суверенитета Российской Федерации // Вестник Российской академии наук. 2023. Т. 93. № 10. С. 907–916.
9. Каблов Е.Н. Шестой технологический уклад // Наука и жизнь. 2010. № 4. С. 2–7.
10. Старцев В.О., Антипов В.В., Славин А.В., Горбовец М.А. Современные отечественные полимерные композиционные материалы для авиастроения (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2023. № 2 (71). Ст. 10. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 25.09.2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-2-122-144.
11. Шершак П.В., Яковлев Н.О., Шокин Г.И., Куцевич К.Е., Попкова Е.А. Метод оценки и факторы, влияющие на качество склеивания обшивки с сотовым наполнителем в конструкциях пола и интерьера воздушных судов // Авиационные материалы и технологии. 2020. № 2 (59). С. 81–88. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-2-81-88.
12. Салахова Р.К., Панарин А.В. Исследование поверхностных энергетических характеристик стекло- и углеволокна методом Вайсбурна // Вопросы материаловедения. 2023. № 3 (115). С. 159–169.
13. Салахова Р.К., Постнов В.И., Качура С.М., Вешкин Е.А. Особенности пробоподготовки стекловолокна для проведения измерений на тензиометре К-100 // Материалы V Всерос. науч.-техн. конф. «Полимерные композиционные материалы и производственные технологии нового поколения». М.: НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, 2021. С. 126–144.
14. Зинина И.Н., Пиманов М.В. Влияние поверхностной энергии металлических образцов на прочность клеевых соединений // Известия МГТУ «МАМИ». 2011. № 2 (12). С. 127–130.
15. Баранников А.А., Постнов В.И., Вешкин Е.А., Сатдинов Р.А. Применение плазмы атмосферного давления как способ подготовки поверхности полимерных композиционных материалов под склеивание // Материалы V Всерос. науч.-техн. конф. «Полимерные композиционные материалы и производственные технологии нового поколения». М.: НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, 2021. С. 177–195.
16. Богданова Ю.Г. Адгезия и ее роль в обеспечении прочности полимерных композитов. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2010. 68 с.
17. Гуляев А.И., Медведев П.Н., Сбитнева С.В., Петров А.А. Экспериментальное исследование по оценке адгезионной прочности «волокно–матрица» в углепластиках на основе эпоксидного связующего, модифицированного полисульфоном // Авиационные материалы и технологии. 2019. № 4 (57). С. 80–86. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-4-80-86.
18. Шершак П.В., Сутубалов А.И., Яковлев Н.О., Шерстюк Ф.А. Стандарты по испытаниям полимерных композиционных материалов. Часть 2. Сжатие // Авиационные материалы и технологии. 2024. № 2 (75). Ст. 12. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 25.09.2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2024-0-2-149-166.

References

1. Kablov E.N. Composites: Today and Tomorrow. *Metally Evrazii*, 2015, no. 1, pp. 36–39.
2. Kablov E.N. New Generation Materials – the Basis for Innovation, Technological Leadership, and National Security of Russia. *Intellekt i tekhnologii*, 2016, no. 2 (14), pp. 16–21.
3. Veshkin E.A., Satdinov R.A., Barannikov A.A. Modern materials for the aircraft cabin. *Trudy VIAM*, 2021, no. 9 (103), paper no. 04. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: September 25, 2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-9-33-42.
4. Mukhametov R.R., Petrova A.P. Thermosetting binders for polymer composites (review). *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2019, no. 3 (56), pp. 48–58. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-3-48-58.
5. Barannikov A.A., Veshkin E.A., Postnov V.I., Strelnikov S.V. On the issue of production of floor panels from polymer composite materials for aircraft (review article). *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2017, no. 4 (2), pp. 198–213.
6. Erasov V.S., Sibayev I.G. Scheme for the development and evaluation of properties of structural aviation composite materials. *Aviation materials and technologies*, 2023, no. 1 (70), paper no. 05. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: September 25, 2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-1-61-81.

7. Timoshkov P.N., Kolobkov A.S., Kurnosov A.O., Goncharov V.A. Prepregs based on melt binders and new-generation polymer composite materials based on them for aviation equipment. *Proceedings of the V All-Rus. scientific and technical conf. «Polymer composite materials and production technologies of the new generation»*. Moscow: National Research Center «Kurchatov Institute» – VIAM, 2021, pp. 7–20.
8. Kablov E.N., Antipov V.V. The role of new-generation materials in ensuring the technological sovereignty of the Russian Federation. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2023, vol. 93, no. 10, pp. 907–916.
9. Kablov E.N. The sixth technological mode. *Nauka i zhizn*, 2010, no. 4, pp. 2–7.
10. Startsev V.O., Antipov V.V., Slavin A.V., Gorbovets M.A. Modern domestic polymer composite materials for aviation industry (review). *Aviation materials and technologies*, 2023, no. 2 (71), paper no. 10. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: September 25, 2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-2-122-144.
11. Shershak P.V., Yakovlev N.O., Shokin G.I., Kutsevich K.E., Popkova E.A. Evaluation method and factors influencing the bonding quality between face and honey-comb cores in floor and interior aircraft panels. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2020, no. 2 (59), pp. 81–88. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-2-81-88.
12. Salakhova R.K., Panarin A.V. Study of surface energy characteristics of glass and carbon fiber by the Washburn method. *Voprosy materialovedeniya*, 2023, no. 3 (115), pp. 159–169.
13. Salakhova R.K., Postnov V.I., Kachura S.M., Veshkin E.A. Features of glass fiber sample preparation for measurements on a K-100 tensiometer. *Proc. of the V All-Rus. scientific and technical conf. «Polymer composite materials and production technologies of the new generation»*. Moscow: NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, 2021, pp. 126–144.
14. Zinina I.N., Pimanov M.V. Influence of the surface energy of metal samples on the strength of adhesive joints. *Izvestiya MGTU «MAMI»*, 2011, no. 2 (12), pp. 127–130.
15. Barannikov A.A., Postnov V.I., Veshkin E.A., Satdinov R.A. Application of atmospheric pressure plasma as a method for preparing the surface of polymer composite materials for bonding. *Proc. of the V All-Rus. scientific and technical conf. «Polymer composite materials and production technologies of the new generation»*. Moscow: NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, 2021, pp. 177–195.
16. Bogdanova Yu. G. *Adhesion and its role in ensuring the strength of polymer composites*. Moscow: Moscow State University, 2010, 68 p.
17. Gulyaev A.I., Medvedev P.N., Sbitneva S.V., Petrov A.A. Experimental research of «fiber–matrix» adhesion strength in carbon fiber epoxy/polysulphone composite. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2019, no. 4 (57), pp. 80–86. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-4-80-86.
18. Shershak P.V., Sutubalov A.I., Yakovlev N.O., Sherstyuk F.A. Standards test methods for polymer matrix composite materials. Part 2. Compression properties. *Aviation materials and technologies*, 2024, no. 2 (75), paper no. 12. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: September 25, 2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2024-0-2-149-166.

Информация об авторах

Судьин Юрий Иванович, инженер-технолог, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Салахова Розалия Кабировна, начальник сектора, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Галиуллин Антон Рашидович, инженер-технолог 2 категории, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Савицкий Руслан Сергеевич, начальник сектора, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Information about the authors

Yuri I. Sudin, Engineer-technologist, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Rosalia K. Salakhova, Head of Sector, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Anton R. Galiullin, Second category engineer-technologist, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Ruslan S. Savitsky, Head of Sector, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 06.11.2024; одобрена и принята к публикации после рецензирования 12.11.2024.
The article was submitted 06.11.2024; approved and accepted for publication after reviewing 12.11.2024.