

Научная статья

УДК 621.792.053

DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-6-42-50

СВОЙСТВА И НАЗНАЧЕНИЕ ПЛЕНОЧНЫХ КЛЕЕВ (КОНСТРУКЦИОННОГО И ВСПЕНИВАЮЩЕГОСЯ) С ПОНИЖЕННОЙ ГОРЮЧЕСТЬЮ

А.Ю. Исаев¹, Е.В. Рубцова¹, Н.Ф. Лукина¹

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

Аннотация. Приведены результаты исследования свойств эпоксидных пленочных клеев с пониженной горючестью и теплостойкостью до 120 °С – ВК-108 и ВКВ-28. Клей конструкционного назначения ВК-108 используется для склеивания деталей и агрегатов из металлических материалов и полимерных композиционных материалов, в том числе сотовой конструкции. Вспенивающийся клей ВКВ-28 предназначен для соединения сотового заполнителя между собой и с элементами каркаса в сотовых конструкциях из алюминиевых сплавов и полимерных композиционных материалов. Клеи являются самозатухающими и отвечают требованиям АП-25 (Приложение F, Часть I).

Ключевые слова: конструкционный пленочный клей, вспенивающийся пленочный клей, клеевые соединения, прочность при сдвиге, прочность сотовой конструкции, теплостойкость, отверждение, клеи с пониженной горючестью

Для цитирования: Исаев А.Ю., Рубцова Е.В., Лукина Н.Ф. Свойства и назначение пленочных клеев (конструкционного и вспенивающегося) с пониженной горючестью // Труды ВИАМ. 2024. № 6 (136). Ст. 04. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-6-42-50.

Scientific article

PROPERTIES AND PURPOSE OF FILM ADHESIVES (CONSTRUCTIONAL AND FOAMING) WITH LOWERED COMBUSTIBILITY

A.Yu. Isaev¹, E.V. Rubcova¹, N.F. Lukina¹

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 the properties of epoxy film adhesives with lowered combustibility and heat resistance up to 120 °C – VK-108 and VKV-28 are presented. VK-108 structural adhesive is intended for gluing parts and units from metal materials and polymeric composite materials, including honeycomb sandwich constructions. VKV-28 foaming adhesive is designed to connect the cellular fillers with each other and with the frame elements in honeycomb sandwich made from aluminum alloys and polymeric composite materials. Adhesives are self-extinguishing and meet the requirements of AP-25 (Appendix F, Part I).

Keywords: constructional film adhesive, foaming film adhesive, adhesive joints, lap shear strength, honeycomb sandwich strength, heat resistance, curing mode, adhesive with lowered combustibility

For citation: Isaev A.Yu., Rubcova E.V., Lukina N.F. Properties and purpose of film adhesives (constructional and foaming) with lowered combustibility. *Trudy VIAM*, 2024, no. 6 (136), paper no. 04. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-6-42-50.

Введение

Клеевые соединения имеют особое значение при создании конструкций, используемых в авиационной технике. Особенно актуальны трехслойные сотовые конструкции, в которых клеи не только соединяют обшивку и сотовый наполнитель, но и обеспечивают необходимую прочность и деформационные характеристики. Объемы производства таких конструкций неуклонно растут.

В НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ разработана широкая номенклатура полимерных композиционных материалов (стекло- и углепластиков), среди которых все большее применение находят материалы с пониженной горючестью. Кроме того, ученые института разрабатывают новые композиционные материалы для создания крыльев, фюзеляжей и других частей самолетов, обладающих высокой прочностью, весовой эффективностью и теплостойкостью. Институт сотрудничает с ведущими авиационными компаниями России, что позволяет ему быть на передовой в области разработки новых материалов; способствует усовершенствованию авиационной техники и повышению безопасности авиаперевозок, в том числе за счет применения в конструкции материалов, отвечающих требованиям АП-25. Исследование клеевых соединений является важной задачей, поскольку их качество напрямую влияет на прочность изделия [1–6].

Разработанные ранее пленочные конструкционные клеи (ВК-51, ВК-36 и др.) обеспечивают надежное соединение обшивок из алюминия и композиционных материалов с сотовым наполнителем в различных термических условиях. Использование высокопрочных клеев позволяет увеличить долговечность и надежность изделий авиационной техники в процессе эксплуатации. Целью новых разработок является создание эффективных клеев, не только обладающих высокими техническими характеристиками, но и безопасных в эксплуатации за счет пониженной горючести [7–12]. Совместно с конструкционными пленочными клеями при изготовлении трехслойных конструкций применяются и вспенивающиеся клеи. Например, вспенивающийся пленочный эпоксидный клей марки ВКВ-3 [13] соединяет сотовый наполнитель между собой и с элементами каркаса, работает при температурах до 150 °С. Однако клеи перечисленных марок обладают горючестью и неэффективны при сборке конструкций из полимерных композиционных материалов с пониженной горючестью.

Таким образом, разработка новых высокопрочных клеев с улучшенными техническими характеристиками имеет особое значение для современной промышленности. Они позволяют обеспечить надежные и прочные соединения в широком диапазоне температур, что открывает новые перспективы для развития различных отраслей промышленности и содействует совершенствованию технического прогресса.

НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ имеет компетенции в разработке клеев с пониженной горючестью. Например, разработан пленочный клей с пониженной горючестью марки ВК-46Б. Однако он имеет рабочую температуру до 80 °С, что в современных условиях не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к конструкции изделий новой техники. Это диктует необходимость создания клея с пониженной горючестью и повышенной до 120 °С теплостойкостью [14–17].

Для решения данной проблемы проведена научно-исследовательская работа, в результате которой разработаны новые клеи: высокопрочный клей конструкционного назначения ВК-108 и вспенивающийся клей ВКВ-28. Эти материалы обладают повышенной теплостойкостью до 120 °С, что значительно расширяет область их применения. Они идеально подходят для склеивания различных материалов, в том числе полимерных композиционных нового поколения, характеризующихся не только высокой теплостойкостью, но и пониженной горючестью. Клеи ВК-108 и ВКВ-28 обладают

высокой прочностью и надежностью. Они соответствуют стандартам качества и безопасности, что гарантирует надежность при эксплуатации клееных конструкций, изготовленных с их применением.

Клеи ВК-108 и ВКВ-28 прошли общую квалификацию и отвечают требованиям АП-25 (Приложение F, Часть I). Результаты научных исследований представлены в данной статье.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ в рамках реализации комплексной научной проблемы 15.1. «Многофункциональные клеящие системы» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [18–22].

Материалы и методы

Объектами исследования являются:

- конструкционный пленочный клей марки ВК-108 (ТУ 20.52.10.120-075-07545412–2022);
- вспенивающийся пленочный клей марки ВКВ-28 (ТУ 20.52.10.120-092-07545412–2023).

Прочность клеевых соединений при сдвиге определяли по ГОСТ 14759–69, при равномерном отрыве обшивки от сот – по ОСТ 1 90069–72, при отслаивании – по РТМ 1.2.015–99. Горючесть клеев исследовали в соответствии с требованиями АП-25 (Приложение F, Часть I) и ГОСТ Р 57924–2017.

Результаты и обсуждение

Новый конструкционный пленочный клей ВК-108 обладает пониженной горючестью, эффективно используется для склеивания различных материалов при создании слоистых и сотовых конструкций из угле- и стеклопластиков. Толщина пленочного клея составляет 0,24 мм, а отверждение происходит при температуре 175 °С. Клей обладает высокой работоспособностью при различных температурах и успешно прошел испытания как в контролируемых лабораторных условиях, так и после воздействия внешних факторов. Клей ВК-108 обеспечивает надежное и качественное склеивание, является эффективным материалом для создания прочных соединений из алюминиевых сплавов, углеродистых сталей и неметаллических материалов в различных условиях эксплуатации. Однако при склеивании титанового сплава прочность клеевого соединения снижается из-за особенностей структуры поверхностного слоя титана. Важно отметить, что при работе со стекло- и углепластиками прочность клеевых соединений зависит от прочности самих материалов, поскольку разрушение происходит по поверхностному слою пластика. Таким образом, правильный выбор клея с учетом вида материала позволит обеспечить надежность и долговечность конечного изделия.

Исследован характер изменения прочности клеевых соединений при склеивании различных материалов в диапазоне температур от –60 до +145 °С (табл. 1). Показано, что прочностные характеристики клеевых соединений при длительном воздействии повышенной температуры (120 °С) в течение 500 и 1000 ч сохраняются на уровне от 93 и 87 % соответственно (табл. 2). Кратковременное воздействие в течение 100 ч температуры 145 °С не оказывает значительного влияния на прочностные свойства, что свидетельствует о высокой теплостойкости клея ВК-108. Данные исследования подтверждают надежность и эффективность клеевого соединения, что делает его идеальным для применения в условиях повышенных температур.

Таблица 1

Прочностные характеристики клеевых соединений, выполненных с использованием клея ВК-108, при различных температурах

Показатели	Склеиваемые материалы	Значение показателя при температуре испытания, °С			
		-60	20	120	145
Прочность при сдвиге τ_v , МПа	Сплав Д16-АТ Ан.Окс.хром	43,3	38,1	36,0	–
	Сплав Д19-АТ Ан.Окс.хром	–	–	–	32,0
	Сталь 30ХГСА опескоструенная	42,3	37,6	32,2	31,0
	Сплав ВТ6 с оксидно-фосфатным покрытием	17,4	19,9	19,0	21,4
	Стеклопластик ВПС-42П опескоструенный	8,7*	9,5*	11,9*	8,9*
	Углепластик ВКУ-61 опескоструенный	12,3*	13,4*	12,1*	9,3*
Прочность при равномерном отрыве обшивки от сотового заполнителя $\sigma_{отр}$, МПа	Сплав Д19-АТ Ан.Окс.хром и сотовый заполнитель из фольги АМг2Н с ячейками размером 2,5 мм	7,8	7,3	6,5	5,3
Прочность при отслаивании $S_{отсл}$, кН/м	Сплав Д16-АТ Ан.Окс.хром	5,6	6,1	6,4	4,9

* Разрушение по пластику.

Таблица 2

Влияние термостарения на прочностные характеристики клеевых соединений, выполненных с использованием клея ВК-108

Склеиваемые материалы	Режим термостарения		τ_v , МПа, при температуре, °С		$\sigma_{отр}$, МПа, при температуре, °С	
	температура, °С	продолжительность, ч	20	120	20	120
Сплав Д16-АТ Ан.Окс.хром	В исходном состоянии		38,0	36,0	–	–
	120	500	35,2	36,7	–	–
	120	1000	33,0	34,7	–	–
	145	100	38,8	38,3	–	–
Сплав Д16-АТ Ан.Окс.хром и сотовый заполнитель из фольги АМг2Н с ячейками размером 2,5 мм	В исходном состоянии		–	–	7,3	6,5
	120	500	–	–	7,5	6,9
	120	1000	–	–	7,3	7,1
	145	100	–	–	7,2	6,9

Примечание. τ_v – прочность при сдвиге; $\sigma_{отр}$ – прочность при равномерном отрыве обшивки от сотового заполнителя.

Испытания клеевого соединения сплава Д16-АТ Ан.Окс.хром, выполненного с использованием клея ВК-108, также показали отличные результаты при воздействии различных внешних факторов: прочность соединения остается на высоком уровне даже после длительного воздействия климатических факторов, циклического действия высоких и низких температур, воды и влаги. Результаты испытания представлены в табл. 3. Прочность клеевых соединений при сдвиге сохраняется на уровне от 75 и 91 % при воздействии воды и влаги в течение 3 мес. при температурах испытания 120 и 20 °С, после термовлажностного старения в течение 3 мес. – на уровне 58 и 75 % соответственно.

Испытания в камере тропического климата показали сохранение свойств на уровне 69–74 %. Термоциклирование практически не оказало воздействия на образцы клеевых соединений, так как свойства сохранились на уровне 83–87 %.

Таблица 3

Влияние внешних факторов на прочностные характеристики клеевых соединений сплава Д16-АТ Ан.Окс.хром, выполненных с использованием клея ВК-108

Фактор воздействия	τ_b , МПа, при температуре, °С		$\sigma_{отр}$, МПа, при температуре, °С	
	20	120	20	120
Без воздействия (в исходном состоянии)	38,1	36,0	7,3	6,5
Экспозиция в дистиллированной воде при температуре 23±2 °С	30,5	27,0	–	–
Экспозиция при температуре 23±2 °С и относительной влажности 97±3 %	34,5	28,6	–	–
Термовлажностное старение в течение 3 мес.	28,5	20,9	7,1	5,1
Экспозиция в камере тропического климата в течение 3 мес.	28,1	25,0	7,4	6,2
Термоциклирование (10 циклов)	33,2	29,9	7,6	7,1
Примечание. τ_b – прочность при сдвиге; $\sigma_{отр}$ – прочность при равномерном отрыве обшивки от сотового заполнителя.				

В процессе эксплуатации клеевое соединение может подвергаться воздействию различных химических сред, в связи с чем проведены испытания клеевых соединений сплава Д16-АТ Ан.Окс.хром, выполненных с использованием клея ВК-108, после выдержки в гидравлической жидкости Skydrol LD-4, нефрасе, масле ИПМ-10 и топливе ТС-1. Клеевое соединение выдерживали в данных жидкостях в течение 10 сут. Результаты испытаний продемонстрировали сохранение прочности при сдвиге на уровне 78–100 % (табл. 4).

Таблица 4

Влияние химических сред на прочность при сдвиге клеевых соединений сплава Д16-АТ Ан.Окс.хром, выполненных с использованием клея ВК-108

Среда воздействия	Прочность при сдвиге τ_b , МПа, при температуре испытания, °С	
	20	120
Без воздействия (в исходном состоянии)	38,1	36,0
Гидравлическая жидкость Skydrol LD-4	29,6	28,6
Нефрас	39,3	34,7
Масло ИПМ-10	40,4	34,1
Топливо ТС-1	39,7	33,2

Немаловажными свойствами клеевого соединения являются грибостойкость и коррозионная стойкость. Результаты испытаний подтвердили, что клей ВК-108 устойчив к действию микологической среды. Склеенные данным клеем титановые и алюминиевые сплавы, нержавеющие и конструкционные стали не подвергаются дополнительному коррозионному воздействию. В соответствии с требованиями по горючести АП-25 (Приложение F, Часть I), клей ВК-108 относится к самозатухающим материалам на полимерной основе.

Результаты расширенных испытаний подтвердили, что конструкционный эпоксидный пленочный клей ВК-108 можно применять для склеивания металлических и

полимерных материалов в авиационной технике. Он обладает повышенной теплостойкостью и пониженной горючестью, что делает его незаменимым при создании клееных деталей и агрегатов, в том числе слоистой и сотовой конструкции.

В процессе производства сотовых конструкций возникает необходимость соединения сотового заполнителя между собой и с замыкающими элементами каркаса. Для этих целей разработан вспенивающийся пленочный клей марки ВКВ-28, который, так же как и конструкционный клей ВК-108, обладает пониженной горючестью. Клеи ВКВ-28 и ВК-108 можно использовать совместно, так как они имеют одну химическую природу и процесс отверждения проходит по одинаковому режиму при температуре 175 °С. Свойства клея ВК-28:

Рабочая температура, °С	120
Прочность при равномерном отрыве обшивки от сот (среднее значение), МПа, при температуре, °С:	
20	4,8
120	4,5
–60	6,8
Коэффициент вспенивания	1,5
Горючесть	Трудногорящий (отвечает требованиям АП-25 (Приложение F, Часть I))

Клей ВКВ-28 обладает высокими прочностными характеристиками при склеивании обшивки с сотовым заполнителем как при пониженных, так и при повышенных температурах, имеет коэффициент вспенивания на уровне широко применяемого вспенивающегося пленочного клея ВКВ-3, по горючести, в соответствии с авиационными правилами АП-25 (Приложение F, Часть I), является трудногорящим.

Заключения

Разработаны клеи марок ВК-108 и ВКВ-28 с пониженной горючестью и теплостойкостью до 120 °С. Конструкционный эпоксидный пленочный клей ВК-108 предназначен для склеивания деталей и агрегатов из металлических материалов и полимерных композитов, включая сотовые конструкции; вспенивающийся эпоксидный пленочный клей ВКВ-28 – для склеивания блоков неперфорированного сотового заполнителя между собой и с замыкающими элементами каркаса из металлических и неметаллических материалов. Исследования показали возможность совместного использования конструкционного клея ВК-108 и вспенивающегося клея ВКВ-28 в процессе производства трехслойных сотовых конструкций для авиационной техники.

Проведена квалификационная оценка свойств клеевых соединений, выполненных с использованием клея ВК-108, которая показала, что клей обеспечивает высокий уровень свойств как в исходном состоянии, так и после воздействия внешних факторов, термического старения, термоциклирования, условий камеры тропического климата, тепловлажностного старения, воды и влаги.

Таким образом, клеи ВК-108 и ВКВ-28 могут занять достойное место среди клеящих материалов для применения в авиационной отрасли. Сочетание теплостойкости, прочности, пониженной горючести и устойчивости к неблагоприятным внешним факторам делают эти клеи неотъемлемым компонентом производства сотовых конструкций, которые используются в новых изделиях авиации. Благодаря таким инновационным материалам возможно создание прочных, пожаробезопасных авиационных конструкций, способных выдерживать высокие нагрузки в процессе длительной эксплуатации.

Список источников

1. Каблов Е.Н. Основные направления развития материалов для авиакосмической техники XXI века // Перспективные материалы. 2000. № 3. С. 27–36.
2. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения и цифровые технологии их переработки // Вестник Российской академии наук. 2020. Т. 90. № 4. С. 331–334.
3. 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.
4. Каблов Е.Н., Минаков В.Т., Аниховская Л.И. Клеи и материалы на их основе для ремонта конструкций авиационной техники // Авиационные материалы и технологии. 2002. № 1. С. 61–65.
5. Гращенков Д.В., Чурсова Л.В. Стратегия развития композиционных и функциональных материалов // Авиационные материалы и технологии. 2012. № 5. С. 231–242.
6. Антипов В.В., Серебренникова Н.Ю., Коновалов А.Н., Нефедова Ю.Н. Перспективы применения в авиационных конструкциях слоистых металлополимерных материалов на основе алюминиевых сплавов // Авиационные материалы и технологии. 2020. № 1 (58). С. 45–53. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-1-45-53.
7. Петрова А.П. Основные этапы технологии склеивания // Клеи. Герметики. Технологии. 2014. № 2. С. 24–30.
8. Каблов Е.Н., Лаптев А.Б., Прокопенко А.Н., Гуляев А.И. Релаксация полимерных композиционных материалов под длительным действием статической нагрузки и климата (обзор). Часть 1. Связующие // Авиационные материалы и технологии. 2021. № 4 (65). Ст. 08. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 21.03.2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-4-70-80.
9. Авиационные материалы: справочник в 13 т. / под ред. Е.Н. Каблова. 7-е изд., доп. и перераб. М.: ВИАМ, 2019. Т. 10: Клеи, герметики, резины, гидрожидкости, ч. 1: Клеи, клеевые препреги. 276 с.
10. Петрова А.П., Малышева Г.В. Клеи, клеевые связующие и клеевые препреги: учеб. пособие / под общ. ред. Е.Н. Каблова. М.: ВИАМ, 2017. 472 с.
11. Петрова А.П., Донской А.А. Клеящие материалы. Герметики. СПб.: Проффессионал, 2008. 589 с.
12. 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.
13. Петрова А.П. Вспенивающиеся клеи и их применение в авиастроении // Клеи. Герметики. Технологии. 2015. № 1. С. 2–5.
14. Куцевич К.Е., Тюменева Т.Ю., Петрова А.П. Влияние наполнителей на свойства клеевых препрегов и ПКМ на их свойства // Авиационные материалы и технологии. 2017. № 4 (49). С. 51–55. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-4-51-55.
15. Дементьева Л.А., Тюменева Т.Ю., Шарова И.А. Клеи с пониженной горючестью для авиационной техники // Сб. тр. VI Междунар. конф. Вологда, 2011. С. 127–128.
16. Застрогина О.Б., Швец Н.И., Серкова У.А., Вешкин Е.А. Пожаробезопасные материалы на основе феноло-формальдегидных связующих // Клеи. Герметики. Технологии. 2017. № 7. С. 22–27.
17. Застрогина О.Б., Серкова Е.А., Сарычев И.А., Вавилова М.И. Влияние винифлекса российского и китайского производства на свойства связующего ВФТ и стеклотекстолита на его основе // Авиационные материалы и технологии. 2020. № 3 (60). С. 3–9. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-3-3-9.
18. Донской А.А., Баритко Н.В. Самозатухающие герметики низкой плотности // Клеи. Герметики. Технологии. 2006. № 9. С. 10–12.
19. Куршубадзе И.В., Петрова А.П., Работоспособность клеевых соединений в условиях морских субтропиков // Клеи. Герметики. Технологии. 2005. № 12. С. 14–17.

20. Лукина Н.Ф., Исаев А.Ю., Стародубцева О.А., Балабанова О.С. Свойства токопроводящего клея с пониженной температурой отверждения // Труды ВИАМ. 2023. № 5 (123). Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 21.03.2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-5-54-63.
21. Петрова А.П., Лукина Н.Ф., Исаев А.Ю., Смирнов О.И. Влияние адгезионного грунта ЭП-0234 на свойства клеевых соединений, полученных с применением клея ВК-36 // Труды ВИАМ. 2022. № 6 (112). Ст. 04. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 21.03.2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-6-39-48.
22. Лукина Н.Ф., Котова Е.В., Петрова А.П., Исаев А.Ю. Улучшение свойств фенолформальдегидных клеев при модификации их поливинилацетатами // Труды ВИАМ. 2022. № 7 (113). Ст. 03. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 21.03.2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-7-27-36.

References

1. Kablov E.N. The main directions of the development of materials for the Authoric technique of the XXI century. *Perspektivnyye materialy*, 2000, no. 3, pp. 27–36.
2. Kablov E.N. New generation materials and digital technologies for their processing. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*, 2020, vol. 90, no. 4, pp. 331–334.
3. Kablov E.N. The role of fundamental research in the creation of materials of the new generation. *XXI Mendeleevsky Congress for General and Applied Chemistry*: in 6 vols. St. Petersburg, 2019, vol. 4, p. 24.
4. Kablov E.N., Minakov V.T., Anikhovskaya L.I. Glues and materials based on them for repairing structures of aviation equipment. *Aviatsionnye materialy i tekhnologii*, 2002, no. 1, pp. 61–65.
5. Grashhenkov D.V., Chursova L.V. Strategy of development of composite and functional materials. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2012, no. S, pp. 231–242.
6. Antipov V.V., Serebrennikova N.Yu., Konovalov A.N., Nefedova Yu.N. Perspectives of application of fiber metal laminate materials based on aluminum alloys in aircraft design. *Aviacionnye materialy i tekhnologii*, 2020, no. 1 (58), pp. 45–53. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-1-45-53.
7. Petrova A.P. The main stages of gluing technology. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2014, no. 2, pp. 24–30.
8. Kablov E.N., Laptev A.B., Prokopenko A.N., Gulyaev A.I. Relaxation of polymeric composite materials under the prolonged action of static load and climate (review). Part 1. Binders. *Aviation materials and technologies*, 2021, no. 4 (65), paper no. 08. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: March 21, 2024). DOI: 10.18577/2071-9140-2021-0-4-70-80.
9. *Aviation materials: a guide of 13 vols.* Ed. E.N. Kablov. 7th ed., add. and rev. Moscow: VIAM, 2019, vol. 10: Adhesives, sealants, rubber, hydraulic fluidity, part 1: Adhesives, glue prepares, 276 p.
10. Petrova A.P., Malysheva G.V. *Adhesives, adhesive binding and adhesive prepares*: textbook. Ed. E.N. Kablov. Moscow: VIAM, 2017, 472 p.
11. Petrova A.P., Donskoy A.A. *Adhesive materials. Sealants*. St. Petersburg: Professional, 2008, 589 p.
12. 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 tekhnologii*, 2020, no. 2 (59), pp. 81–88. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-2-81-88.
13. Petrova A.P. Foaming adhesives and their use in aircraft construction. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2015, no. 1, pp. 2–5.
14. Kutsevich K.E., Tyumeneva T.Yu., Petrova A.P. Influence of fillers on properties of adhesive prepregs and PCM on their basis. *Aviacionnye materialy i tekhnologii*, 2017, no. 4 (49), pp. 51–55. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-4-51-55.
15. Demytyeva L.A., Tyumeneva T.Yu., Sharova I.A. Adhesives with reduced flammability for aircraft. *Tr. VI Int. conf. Vologda*, 2011, pp. 127–128.

16. Zastrogina O.B., Shvets N.I., Serkova U.A., Veshkin E.A. Fireproof materials based on phenol-formaldehyde binders. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2017, no. 7, pp. 22–27.
17. Zastrogina O.B., Serkova E.A., Sarychev I.A., Vavilova M.I. Influence of Russian and Chinese vinyflex on the properties of the VFT binder and fiberglass based on it. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2020, no. 3 (60), pp. 3–9. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-3-3-9.
18. Donskoy A.A., Baritko N.V. Self-extinguishing low-density sealants. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2006, no. 9, pp. 10–12.
19. Kurshubadze I.V., Petrova A.P. Performance of adhesive joints in marine subtropical conditions. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2005, no. 12, pp. 14–17.
20. Lukina N.F., Isaev A.Yu., Starodubtseva O.A., Balabanova O.S. Approaches to creation of conducting glue from the lowered curing temperature. *Trudy VIAM*, 2023, no. 5 (123), paper no. 05. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: May 01, 2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-5-54-63.
21. Petrova A.P., Lukina N.F., Isaev A.Yu., Smirnov O.I. The effect of the adhesive primer EP-0234 on the properties of adhesive compounds obtained using adhesive VK-36. *Trudy VIAM*, 2022, no. 6 (112), paper no. 04. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: March 21, 2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-6-39-48.
22. Lukina N.F., Kotova E.V., Petrova A.P., Isaev A.Yu. Improvement of properties of fenolformaldegidny adhesives when updating by their polyvinylacetals. *Trudy VIAM*, 2022, no. 6 (112), paper no. 03. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: March 21, 2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-7-27-36.

Информация об авторах

Исаев Алексей Юрьевич, заместитель начальника лаборатории по науке, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Рубцова Екатерина Владимировна, ведущий инженер, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Лукина Наталия Филипповна, главный научный сотрудник, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Information about the authors

Alexey Yu. Isaev, Deputy Head of Laboratory of Science, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Ekaterina V. Rubcova, Leading Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Natalia F. Lukina, Chief Researcher, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 15.05.2024; одобрена и принята к публикации после рецензирования 16.05.2024.

The article was submitted 15.05.2024; approved and accepted for publication after reviewing 16.05.2024.