

Научная статья

УДК 621.792.053

DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-8-28-37

СВОЙСТВА КЛЕЯ ВК-106 ДЛЯ КРЕПЛЕНИЯ ТЕРМОУСАЖИВАЕМЫХ ТРУБОК В КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЖГУТОВ

Н.Ф. Лукина¹, А.Ю. Исаев¹, О.И. Смирнов¹, Р.П. Саландо¹

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

Аннотация. Исследованы свойства эпоксидного клея ВК-106, предназначенного для соединения при температуре плавления изделий из термоусаживаемых материалов с оболочками электрических жгутов и корпусами электрических разъемов с последующим отверждением при комнатной температуре. Приведены данные сравнительного анализа прочностных характеристик клеевых соединений, выполненных с использованием клея ВК-106, до и после воздействия внешних факторов.

Ключевые слова: эпоксидный клей холодного отверждения, тиксотропность, термоусаживаемые трубки, электрические жгуты, клеевые соединения, прочность при сдвиге, ремонтпригодность

Для цитирования: Лукина Н.Ф., Исаев А.Ю., Смирнов О.И., Саландо Р.П. Свойства клея ВК-106 для крепления термоусаживаемых трубок в конструкции электрических жгутов // Труды ВИАМ. 2024. № 8 (138). Ст. 03. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-8-28-37.

Scientific article

PROPERTIES OF VK-106 ADHESIVE FOR FASTENING OF HEAT-SHRINKABLE TUBES IN THE DESIGN OF ELECTRIC PLAITS

N.F. Lukina¹, A.Yu. Isayev¹, O.I. Smirnov¹, R.P. Salando¹

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

Abstract. Results of research of the properties of VK-106 epoxy thixotropic adhesive intended for connection of products from heat-shrinkable materials with the shells of electric plaits and the bodies of electric connectors at melting point temperature with the subsequent curing of adhesive joint at room temperature are presented. The data on keeping of strength characteristics of the adhesive joints executed with use of VK-106 adhesive, after influence of external factors in comparison with the initial characteristics are provided.

Keywords: epoxy adhesive of cold curing, thixotropy, heat-shrinkable tubes, electric plaits, adhesive joints, shear strength, maintainability

For citation: Lukina N.F., Isayev A.Yu., Smirnov O.I., Salando R.P. Properties of VK-106 adhesive for fastening of heat-shrinkable tubes in the design of electric plaits. *Trudy VIAM*, 2024, no. 8 (138), paper no. 03. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-8-28-37.

Введение

В настоящее время в авиационной промышленности для соединения изделий из термоусаживаемых материалов (например, трубок) с оболочками жгутов и корпусами электрических разъемов нашел широкое применение эпоксидный клей марки Adhesive S-1125 Kit 8 производства фирмы TE Connectivity (США), который поставляется расфасованным в сдвоенные картриджи. В готовом для использования виде клей Adhesive S-1125 Kit 8 представляет собой пастообразный состав, который отверждается при комнатной температуре. Клей Adhesive S-1125 Kit 8 работоспособен в интервале температур от -60 до $+150$ °С и выдерживает кратковременное (до 5 мин) воздействие температур от 200 до 250 °С. Клей является ремонтпригодным и позволяет производить демонтаж клеевого соединения при проведении ремонтных работ по замене термоусаживаемых трубок. Однако в настоящее время клей Adhesive S-1125 Kit 8 на отечественный рынок не поставляется, в связи с чем необходимо его импортозамещение на российский аналог [1].

В НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ ранее разработан ряд эпоксидных клеев холодного отверждения, которые нашли широкое применение в авиационной промышленности [2–8]. Клей ВК-9 холодного отверждения (ТУ 1-595-14-842–2004) применяется для клеевых, клеесварных и клеерезьбовых соединений из стали, алюминиевых, магниевых и титановых сплавов, неметаллических материалов в конструкциях, работающих при температурах от -60 до $+125$ °С длительно. В составе клеевых конструкций одноразового действия клей выдерживает воздействие температур до 250 °С. Клей ВК-9 при склеивании алюминиевого сплава типа Д16-АТ обеспечивает прочность соединения $14,7$; $4,9$ и $2,9$ МПа при температурах 20 , 125 и 150 °С соответственно. Клей ВК-27 холодного отверждения (ТУ 1-595-14-692–2008) широко используется для выполнения клеевых и клееклепанных соединений в конструкциях из алюминиевых и титановых сплавов, сталей и композиционных материалов, работающих в интервале температур от -60 до $+80$ °С длительно (1000 ч), при температуре 180 – 250 °С – кратковременно (30 мин). За счет наличия эластификатора клей ВК-27 в сравнении с клеем ВК-9 обеспечивает более высокий уровень прочностных характеристик при склеивании металлических и полимерных композиционных материалов: 24 ; 7 и 4 МПа при температурах 20 , 80 и 125 °С соответственно. Быстроотверждающийся эпоксидный пастообразный клей холодного отверждения марки ВК-93 (ТУ 1-595-12-943–2008) предназначен для оперативного ремонта, в том числе в полевых условиях, деталей и агрегатов из металлических и композиционных материалов (стекло- и углепластиков), имеет начальную прочность ≥ 7 МПа через 5 ч после начала отверждения. После полного отверждения при комнатной температуре прочность клеевых соединений достигает $28,0$; $14,5$ и $10,5$ МПа при температурах 20 , 80 и 100 °С соответственно. Клей рекомендован для применения в диапазоне температур от -60 до $+80$ °С и характеризуется устойчивостью к воздействию климатических факторов [9–15].

Однако опробование клеев холодного отверждения перечисленных марок взамен импортного клея Adhesive S-1125 Kit 8 показало, что они не обеспечивают склеивания термоусаживаемых материалов с температурой плавления ≥ 200 °С с металлами и термопластами и не являются ремонтпригодными.

В НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ выполнена научно-исследовательская работа, в рамках которой разработан клей марки ВК-106 холодного отверждения с характеристиками на уровне импортного аналога – клея Adhesive S-1125 Kit 8. Клей ВК-106 обладает тиксотропными свойствами, легко и равномерно наносится на склеиваемые поверхности, не стекая с них, не содержит растворителя и поэтому не требует открытой выдержки после нанесения, имеет продолжительную жизнеспособность (не менее 2 ч).

Излишки клея после термоусадки термоусаживаемого изделия (трубки) легко удаляются. Последующее отверждение клеевых соединений проводится при температуре 20 ± 3 °С. Клей ВК-106 работоспособен при температурах от -60 до $+150$ °С, выдерживает кратковременное воздействие температуры 175 °С и является ремонтпригодным, что позволяет при необходимости выполнять замену термоусаживаемого элемента в конструкции электрического жгута.

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») [16–22].

Материалы и методы

Объект исследований – клей марки ВК-106 (ТУ 20.52.10-081-07545412–2022).

Механические характеристики при сдвиге определяли по ГОСТ 14759–69. Воздействие термического старения изучали в соответствии с СТО 1-595-20-101–2016, тепловлажностного старения – ГОСТ 9.707–81, изменения температуры среды (термоциклирования) – ГОСТ 9.707–81, условий камеры тропического климата – СТП 1-595-20-100–2002.

Результаты и обсуждение

Клей марки ВК-106 представляет собой полимерную композицию на основе эпоксидной смолы и включает смесь наполнителей, определяющих оптимальный уровень его технологических свойств. Клей поставляется в виде комплекта из двух компонентов, которые тщательно перемешиваются перед употреблением, а также расфасованным в двоянные картриджи (по аналогии с импортным клеем Adhesive S-1125 Kit 8). Клей ВК-106 предназначен для соединения электрических разъемов с электрическими жгутами с помощью изделий (в основном трубок) из термоусаживаемых материалов с температурой плавления до 200 °С в самолетостроении.

Исследованы механические характеристики клея ВК-106 в исходном состоянии и после экспозиции в условиях действия внешних факторов, в том числе термического старения, термоциклирования, факторов, имитирующих климатические условия (вода, влага, тепловлажностное старение, условия камеры тропического климата) [23–28].

В табл. 1 представлены данные, отражающие зависимость свойств клея ВК-106 от температуры в диапазоне от -60 до $+175$ °С.

Таблица 1

Механические свойства соединений, выполненных клеем ВК-106, в исходном состоянии

Склеиваемые материалы	Прочность клеевых соединений при сдвиге*, МПа, при температуре испытания, °С				
	-60	20	100	150	175
Алюминиевый сплав Д16-АТ (Ан.Окс.хром)	$\frac{8,1-11,8}{9,5}$	$\frac{14,2-18,7}{16,0}$	$\frac{8,7-10,9}{9,8}$	$\frac{2,9-3,6}{3,3}$	$\frac{2,1-3,1}{2,5}$
Медный сплав М1 (травленный)	–	$\frac{15,3-16,2}{15,5}$	–	$\frac{3,0-3,5}{3,2}$	–

* В числителе указан диапазон значений, в знаменателе – среднее значение.

Свойства клея ВК-106 в исходном состоянии, а также характер их изменения в зависимости от температуры испытаний соответствуют основным показателям импортного аналога – клея Adhesive S-1125 Kit 8.

Уровень сохраняемости свойств клеевых соединений, изготовленных с применением клея ВК-106, относительно свойств в исходном состоянии при температуре 20 °С составляет 91 и 86 % после термического старения при температуре 100 °С в течение 500 и 1000 ч соответственно (табл. 2). Уровень прочностных показателей при температуре испытаний 20 °С после выдержки при температуре 150 °С в течение 100 ч практически не изменился.

Таблица 2

**Прочность при сдвиге соединений сплава Д16-АТ (Ан.Окс.хром),
выполненных клеем ВК-106, после термического старения**

Температура старения, °С	Продолжительность старения, ч	Прочность при сдвиге*, МПа, при температуре испытания, °С	
		20	150
100	500	<u>14,1–15,0</u> 14,5	<u>3,7–3,9</u> 3,8
	1000	<u>13,4–14,3</u> 13,8	<u>3,2–4,1</u> 3,5
150	100	<u>16,3–17,2</u> 16,6	<u>3,7–4,5</u> 4,2

* В числителе указан диапазон значений, в знаменателе – среднее значение.

Анализ характера изменения прочностных показателей клея ВК-106 после термического старения относительно показателей прочности в исходном состоянии при температуре испытаний 150 °С показал следующее. После воздействия температуры 100 °С в течение 500 ч прочностные показатели увеличились на 15 %, 100 °С в течение 1000 ч – на 6 %, 150 °С в течение 100 ч – на 27,3 %.

Установлен характер воздействия переменных температур (10 циклов по режиму: 150 °С в течение 4,5 ч, 20 °С в течение 18,5 ч, –60 °С в течение 1 ч) на прочность соединений, выполненных клеем ВК-106, при температурах испытаний 20 и 150 °С (табл. 3).

Таблица 3

**Прочность при сдвиге соединений сплава Д16-АТ (Ан.Окс.хром),
выполненных клеем ВК-106, после термоциклирования**

Температура испытания, °С	Прочность при сдвиге*, МПа
20	<u>14,4–16,7</u> 15,4
150	<u>3,1–4,7</u> 3,8

* В числителе указан диапазон значений, в знаменателе – среднее значение.

Показано, что клей ВК-106 способен выдерживать циклический перепад температур: уровень сохраняемости прочностных показателей при сдвиге после экспозиции в условиях действия термоциклирования относительно исходных прочностных показателей при температуре испытаний 20 °С составил 96,3 %. Прочностные показатели образцов с клеем ВК-106 после экспозиции в условиях термоциклирования при температуре испытаний 150 °С повысились на 15 %.

Выполнена оценка характера изменения прочностных показателей образцов под воздействием климатических факторов – влаги, воды, тепловлажностной среды (при температуре 60 °С и влажности 85 %), условий камеры тропического климата, натурной экспозиции в условиях действия климата г. Москвы и г. Геленджика (табл. 4).

Прочность соединений сплава Д16-АТ (Ан.Окс.хром), выполненных клеем ВК-106, после воздействия климатических факторов

Воздействующий фактор	Продолжительность выдержки	Прочность при сдвиге*, МПа, при температуре испытания, °С	
		20	150
Влажность 98 %	30 сут	<u>14,5–17,5</u> 16,0	<u>3,0–3,5</u> 3,2
Вода		<u>14,5–17,5</u> 16,0	<u>3,0–3,5</u> 3,2
Тепловлажностная среда	3 мес.	<u>11,0–14,5</u> 13,0	<u>2,4–2,7</u> 2,6
Камера тропического климата		<u>12,5–15,0</u> 13,5	<u>2,3–2,8</u> 2,5
Умеренный климат промышленной атмосферы (г. Москва)	6 мес.	<u>15,5–18,5</u> 16,0	<u>2,4–3,0</u> 2,8
Умеренно теплый климат приморской атмосферы (г. Геленджик)		<u>11,0–15,5</u> 13,5	<u>2,7–3,4</u> 3,0

* В числителе указан диапазон значений, в знаменателе – среднее значение.

Более агрессивным является воздействие на образцы с клеем ВК-106 тепловлажностной среды, условий камеры тропического климата и натуральных испытаний в умеренно теплом климате приморской атмосферы (г. Геленджик) (при температуре испытаний 20 °С). Снижение прочности образцов по отношению к контрольным показателям после действия климатических факторов при температуре испытаний 20 °С составило 16–19 %. Прочность образцов сохранилась на более высоком уровне после экспозиции в воде и влаге.

Оценка коррозионной агрессивности показала, что клей ВК-106 может применяться в контакте с титановыми сплавами, нержавеющей стали, конструкционными сталями с гальваническими покрытиями и алюминиевыми сплавами с анодно-оксидными покрытиями с учетом допустимых нагревов для контактирующих материалов.

Отработана технология использования клея ВК-106 для соединения термоусаживаемых элементов с электрическими разъемами. На рис. 1–5 представлены этапы технологического процесса изготовления конструктивно-подобного образца «термоусаживаемая трубка + электрический разъем» с использованием клея ВК-106.

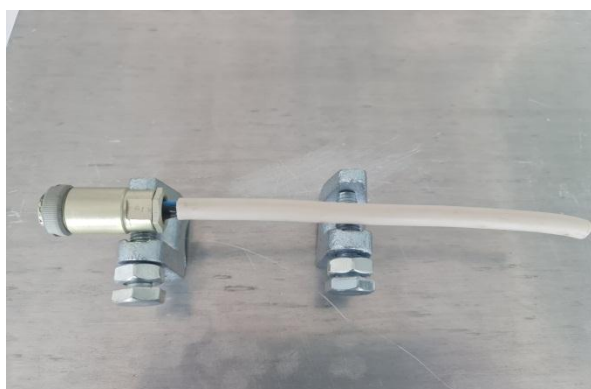


Рис. 1. Электрический разъем в исходном состоянии



Рис. 2. Нанесение клея ВК-106 на склеиваемые поверхности

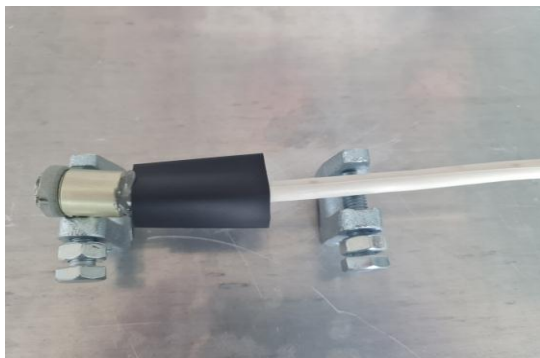


Рис. 3. Размещение термоусаживаемой трубки



Рис. 4. Термоусадка трубки с помощью фена



Рис. 5. Конструктивно-подобный образец «термоусаживаемый элемент + электрический разъем», изготовленный с использованием клея ВК-106

Опробование конструктивно-подобного образца «термоусаживаемый элемент + электрический разъем» показало, что клей ВК-106 обладает сочетанием оптимальных технологических свойств и прочностных характеристик в составе клеевых соединений. Клей ВК-106 является тиксотропным составом, не стекает с поверхности склеиваемых материалов, удобен для нанесения, не течет в процессе термоусадки трубки, работоспособен в широком диапазоне температур. Кроме того, установлено, что клей ВК-106 является ремонтпригодным и позволяет при необходимости выполнять ремонт по замене термоусаживаемой трубки [29–34].

Заключения

Разработан эпоксидный клей марки ВК-106, предназначенный для соединения при температуре плавления изделий из термоусаживаемых материалов с оболочками электрических жгутов и корпусами электрических разъемов с последующим отверждением клеевого соединения при температуре 20 °С.

Установлено влияние внешних факторов, в том числе термического старения, термоциклирования, воды, влаги, тепловлажностного старения, условий камеры тропического климата, натурных испытаний, на характер изменения прочностных характеристик клеевых соединений. Проанализирован характер изменения прочностных свойств клеевых соединений, выполненных с использованием клея ВК-106, после воздействия внешних факторов в сравнении с исходными показателями.

Приведены этапы технологического процесса изготовления конструктивно-подобного образца «термоусаживаемый элемент + электрический разъем», изготовленного с использованием клея ВК-106. Подтверждена возможность использования клея по данному назначению.

Таким образом, клей ВК-106, предназначенный для использования в конструкции электрических жгутов, имеет оптимальное сочетание технологических и физико-механических характеристик. Клей ВК-106 обладает тиксотропными свойствами, за счет чего не стекает со склеиваемых поверхностей, работоспособен в диапазоне температур от -60 до $+150$ °С, является ремонтпригодным. Все перечисленные свойства позволяют рекомендовать клей ВК-106 для замены эпоксидного клея марки Adhesive S-1125 Kit 8 производства фирмы TE Connectivity (США), который в настоящее время широко используется для аналогичных целей.

Благодарности

Авторы выражают благодарность О.А. Стародубцевой за участие в разработке клея ВК-106.

Список источников

1. TE Connectivity. URL: <https://www.te.com/usa-en/product-657863-000.html> (дата обращения: 21.03.2024).
2. Каблов Е.Н. Основные направления развития материалов для авиакосмической техники XXI века // Перспективные материалы. 2000. № 3. С. 27–36.
3. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения и цифровые технологии их переработки // Вестник Российской академии наук. 2020. Т. 90. № 4. С. 331–334.
4. 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.
5. 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.
6. Гращенков Д.В., Чурсова Л.В. Стратегия развития композиционных и функциональных материалов // Авиационные материалы и технологии. 2012. № 5. С. 231–242.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Петрова А.П., Донской А.А. Клеящие материалы. Герметики. СПб.: Професионал, 2008. 589 с.
11. Мухаметов Р.Р., Ахмадиева К.Р., Чурсова Л.В., Коган Д.И. Новые полимерные связующие для перспективных методов изготовления конструкционных волокнистых ПКМ // Авиационные материалы и технологии. 2011. № 2. С. 38–42.
12. Петрова А.П. Вспенивающиеся клеи и их применение в авиастроении // Клеи. Герметики. Технологии. 2015. № 1. С. 2–5.
13. Исаев А.Ю., Павлюк Б.Ф., Петрова А.П., Лукина Н.Ф., Балабанова О.С. Влияние модификации эпоксидных клеев холодного отверждения эластомерами на ресурсную прочность клеевых соединений // Труды ВИАМ. 2020. № 9 (91). Ст. 03. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 21.03.2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-9-27-34.
14. Малышева Г.В., Гращенков 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.

15. 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.
16. 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.
17. Дементьева Л.А., Тюменева Т.Ю., Шарова И.А. Клеи с пониженной горючестью для авиационной техники // *Сб. тр. VI Междунар. конф. «Полимерные материалы пониженной горючести»*. Вологда, 2011. С. 102–104.
18. 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.
19. Ахмадиева К.Р., Петрова А.П., Шошева А.Л., Боков В.В. Теплостойкий полиимидный клей конструкционного назначения // *Труды ВИАМ*. 2023. № 6 (124). Ст. 02. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 21.02.2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-6-15-24.
20. 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.
21. 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.
22. Аниховская Л.И., Минаков В.Т. Клеи и клеевые препреги для перспективных изделий авиакосмической техники // *Авиационные материалы. Избранные труды ВИАМ 1932–2002*. М.: МИСИС; ВИАМ, 2002. С. 315–325.
23. Донской А.А., Баритко Н.В. Самозатухающие герметики низкой плотности // *Клеи. Герметики. Технологии*. 2006. № 9. С. 10–12.
24. Батизат В.П., Аниховская Л.И., Дементьева Л.А. Клеи для склеивания конструкций из металлов и композиционных материалов // *Авиационная промышленность*. 1983. № 11. С. 15–17.
25. Батизат В.П., Аниховская Л.И., Власова В.И. и др. Особенности применения высокопрочных конструкционных клеев // *Авиационные материалы*. М.: ВИАМ, 1982. С. 207–211.
26. Сытый Ю.В., Сагомонова В.А., Кислякова В.И., Большаков В.А. Новые вибропоглощающие материалы // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. № 2. С. 51–54.
27. Петрова А.П. Основные этапы технологии склеивания // *Клеи. Герметики. Технологии*. 2014. № 2. С. 24–30.
28. Фридляндер И.Н., Аниховская Л.И., Сенаторова О.Г., Сидельников В.В., Дементьева Л.А. Композиционные клеевые и слоистые металло-полимерные композиты // *Машиностроение: энциклопедия в 40 т. М.: Машиностроение, 2001. Т. II-3: Цветные металлы и сплавы. Композиционные металлические материалы / под ред. И.Н. Фридляндера, Е.Н. Каблова*. С. 814–831.
29. Каримова С.А., Павловская Т.Г., Петрова А.П. Подготовка поверхности алюминиевых сплавов с применением анодного оксидирования // *Клеи. Герметики. Технологии*. 2014. № 1. С. 34–38.
30. Кочергин Ю.С., Григоренко Т.И., Кулик Т.А. Свойства эпоксидных клеев, модифицированных олигосульфонидами // *Клеи. Герметики. Технологии*. 2005. № 11. С. 3–7.
31. Куршубадзе И.В., Петрова А.П. Работоспособность клеевых соединений в условиях морских субтропиков // *Клеи. Герметики. Технологии*. 2005. № 12. С. 14–17.
32. Петрова А.П., Дементьева Л.А., Куцевич К.Е., Бузник В.М. О возможности использования материалов на основе клеевых препрегов в Арктических условиях // *Клеи. Герметики. Технологии*. 2015. № 2. С. 12–16.
33. Шведкова А.К., Петрова А.П., Бузник В.М. Климатическая стойкость композиционных материалов на основе клеевых препрегов в континентальных арктических условиях // *Клеи. Герметики. Технологии*. 2016. № 1. С. 19–25.
34. 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: 28.06.2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-6-39-48.

References

1. *TE Connectivity*. Available at: <https://www.te.com/usa-en/product-657863-000.html> (accessed: March 21, 2024).
2. Kablov E.N. Main directions of development of materials for aerospace engineering of the 21st century. *Perspektivnye materialy*, 2000, no. 3, pp. 27–36.
3. Kablov E.N. New generation materials and digital technologies for their processing. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*, 2020, vol. 90, no. 4, pp. 331–334.
4. Kablov E.N. The role of fundamental research in creating new generation materials. *Reports of the XXI Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry*: in 6 vols. St. Petersburg, 2019, vol. 4, p. 24.
5. 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: 10.18577/2713-0193-2021-0-4-70-80.
6. Grashchenkov D.V., Chursova L.V. Strategy of development of composite and functional materials. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2012, no. 5, pp. 231–242.
7. Antipov V.V., Serebrennikova N.Yu., Kononov A.N., Nefedova Yu.N. Perspectives of application of fiber metal laminate materials based on aluminum alloys in aircraft design. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2020, no. 1 (58), pp. 45–53. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-1-45-53.
8. *Aviation materials: a reference book in 13 vols.* Ed. E.N. Kablov. 7th ed., add. and rev. Moscow: VIAM, 2019, vol. 10: Adhesives, sealants, rubbers, hydraulic fluids, part 1: Adhesives, adhesive prepreps, 276 p.
9. Petrova A.P., Malysheva G.V. *Adhesives, adhesive binders and adhesive prepreps: a textbook*. Ed. E.N. Kablov. Moscow: VIAM, 2017, 472 p.
10. Petrova A.P., Donskoy A.A. *Adhesives. Sealants*. St. Petersburg: Professional, 2008, 589 p.
11. Muhametov R.R., Ahmadiyeva K.R., Chursova L.V., Kogan D.I. New polymeric binding for perspective methods of manufacturing of constructional fibrous PCM. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2011, no. 2, pp. 38–42.
12. Petrova A.P. Foaming adhesives and their application in aircraft manufacturing. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2015, no. 1, pp. 2–5
13. Isaev A.Yu., Pavlyuk B.Ph., Petrova A.P., Lukina N.Ph., Balabanova O.S. Effect of modification of cold cured epoxy adhesives with elastomers on the resource strength of adhesive joint. *Trudy VIAM*, 2020, no. 9 (91), paper no. 03. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: March 21, 2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-9-27-34.
14. Malysheva G.V., Grashchenkov D.V., Guzeva T.A. Evaluation of technological use efficiency of adhesives and glue prepreps in the manufacture of three-layer panels. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2018, no. 4 (53), pp. 26–30. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-4-26-30.
15. Kablov E.N., Minakov V.T., Anikhovskaya L.I. Adhesives and materials based on them for repair of aircraft structures. *Aviatsionnye materialy i tehnologii*, 2002, no. 1, pp. 61–65.
16. 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.
17. Demytyeva L.A., Tyumeneva T.Yu., Sharova I.A. Low-flammability adhesives for aviation equipment. *VI Int. Conf. «Low-flammability polymeric materials»*. Vologda, 2011, pp. 102–104.
18. Zastrogina O.B., Shvets N.I., Serkova U.A., Veshkin E.A. Fire-safe materials based on phenol-formaldehyde binders. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2017, no. 7, pp. 22–27.
19. Akhmediyeva K.R., Petrova A.P., Shosheva A.L., Bokov V.V. Heat-resistant polyimide adhesive of constructive purposes. *Trudy VIAM*, 2023, no. 6 (124), paper no. 02. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: February 21, 2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-6-15-24.
20. Kutsevich K.E., Tyumeneva T.Yu., Petrova A.P. Influence of fillers on properties of adhesive prepreps and PCM on their basis. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. 4 (49), pp. 51–55.
21. Zastrogina O.B., Serkova E.A., Sarychev I.A., Vavilova M.I. Influence of Russian and Chinese vinylflex 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.

22. Anikhovskaya L.I., Minakov V.T. Adhesives and adhesive prepregs for advanced aerospace products. *Aviation materials. Selected works of VIAM 1932–2002*. Moscow: MISIS; VIAM, 2002, pp. 315–325.
23. Donskoy A.A., Baritko N.V. Low-density self-extinguishing sealants. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2006, no. 9, pp. 10–12.
24. Batizat V.P., Anikhovskaya L.I., Demytyeva L.A. Adhesives for bonding metal and composite structures. *Aviatsionnaya promyshlennost*, 1983, no. 11, pp. 15–17.
25. Batizat V.P., Anikhovskaya L.I., Vlasova V.I. et al. Features of the application of high-strength structural adhesives. *Aviation materials*. Moscow: VIAM, 1982, pp. 207–211.
26. Sytyj Yu.V., Sagomonova V.A., Kislyakova V.I., Bolshakov V.A. New vibro absorbing materials. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2012, no. 2, pp. 51–54.
27. Petrova A.P. Main stages of gluing technology. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2014, no. 2, pp. 24–30.
28. Fridlyander I.N., Anikhovskaya L.I., Senatorova O.G., Sidelnikov V.V., Demytyeva L.A. Composite adhesive and layered metal-polymer composites. *Mechanical Engineering: Encyclopedia in 40 vols*. Moscow: Mashinostroenie, 2001, vol: II-3: Non-ferrous metals and alloys. Composite metallic materials. Eds. I.N. Fridlyander, E.N. Kablov, pp. 814–831.
29. Karimova S.A., Pavlovskaya T.G., Petrova A.P. Surface preparation of aluminum alloys using anodic oxidation. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2014, no. 1, pp. 34–38.
30. Kochergin Yu.S., Grigorenko T.I., Kulik T.A. Properties of epoxy adhesives modified with oligosulfones. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2005, no. 11, pp. 3–7.
31. Kurshbadze I.V., Petrova A.P. Performance of adhesive joints in marine subtropical conditions. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2005, no. 12, pp. 14–17.
32. Petrova A.P., Demytyeva L.A., Kutsevich K.E., Buznik V.M. On the possibility of using materials based on adhesive prepregs in Arctic conditions. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2015, no. 2, pp. 12–16.
33. Shvedkova A.K., Petrova A.P., Buznik V.M. Climatic resistance of composite materials based on adhesive prepregs in continental arctic conditions. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2016, no. 1, pp. 19–25.
34. 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: June 28, 2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-6-39-48.

Информация об авторах

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

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

Смирнов Олег Игоревич, начальник сектора, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Саландо Руфина Петровна, инженер, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Information about the authors

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

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

Oleg I. Smirnov, Head of Sector, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Rufina P. Salando, Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 23.07.2024; одобрена и принята к публикации после рецензирования 27.07.2024.

The article was submitted 23.07.2024; approved and accepted for publication after reviewing 27.07.2024.