

Научная статья

УДК 621.763

DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-7- 27-36

УЛУЧШЕНИЕ СВОЙСТВ ФЕНОЛФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ КЛЕЕВ ПРИ МОДИФИКАЦИИ ИХ ПОЛИВИНИЛАЦЕТАЛЯМИ

Н.Ф. Лукина¹, Е.В. Котова¹, А.П. Петрова¹, А.Ю. Исаев¹

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

Аннотация. Показаны свойства немодифицированных фенолформальдегидных клеев, их состав и назначение. Приводятся примеры клеев на основе фенолформальдегидных смол, модифицированных поливинилацетатами. Показано улучшение свойств клеев после их модификации таким способом. Представлены прочностные характеристики клеевых соединений, выполненных с использованием фенолоацетальных клеев марок ВС-10Т-У и ВС-350 в исходном состоянии и после воздействия искусственных факторов, имитирующих эксплуатационные. Показано, что клеи ВС-10Т-У и ВС-350 обеспечивают работоспособность высокотемпературных тензорезисторов.

Ключевые слова: клей, фенолформальдегидный олигомер, резол, новолак, клеевое соединение, поливинилацеталь, прочность при сдвиге, искусственные факторы

Для цитирования: 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>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-7-27-36.

Scientific article

IMPROVEMENT OF PROPERTIES OF FENOLFORMALDEGIDNY ADHESIVES WHEN UPDATING BY THEIR POLYVINYLACETALS

N.F. Lukina¹, E.V. Kotova¹, A.P. Petrova¹, A.Yu. Isaev¹

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

Abstract. Properties of not modified fenolformaldegidny adhesives, their structure and assignment are shown. Examples of adhesives on the basis of fenolformaldegidny resins, modified by polyvinylacetals are given. Improvement of properties of adhesives after their updating in such a way is shown. Strength characteristics of the adhesives joints executed with use of phenolpolyvinylacetal adhesives of brands VS-10T-U and VS-350 in initial condition and after artificial factors, simulating the operational are provided. It is shown that adhesives VS-10T-U and VS-350 provide operability of high-temperature tenzorezistors.

Keywords: adhesive, fenolformaldegidny oligomer, resol, novolak, adhesive bond, polyvinylacetal, lap shear strength, influence of artificial factors

For citation: 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. 7 (113), paper no. 03. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-7-27-36.

Введение

Клеи на основе фенолформальдегидных олигомеров стали первыми синтетическими клеями, которые начали применяться в авиастроении. Основой клеев были фенолформальдегидные олигомеры резольного типа, отверждение которых проводили с применением кислотных катализаторов, например сульфонафтяных кислот (контакт Петрова). Например, клей ВИАМ Б-3 – один из первых синтетических клеев, разработанных в ВИАМ. Химическая реакция между его компонентами проходит за 5–20 ч. Его применяли для соединения древесины, пенопластов, тканей, т. е. для материалов, из которых в основном изготавливали первые летательные аппараты [1, 2]. Для крепления лавсановых и капроновых лент к органическому стеклу в конструкции остекления самолетов использовали фенолформальдегидный клей марки В31-Ф9.

Характеристики немодифицированных фенолформальдегидных клеев представлены в табл. 1.

Таблица 1

Свойства немодифицированных фенолформальдегидных клеев

Клей	Жизнеспособность, ч	Расход клея, г/м ²	Режим склеивания			Прочность при сдвиге при 20 °С, МПа	Назначение
			температура, °С	продолжительность, ч	давление, МПа		
ВИАМ Б-3	2–4	150–350	20	5–20	0,05–0,5	13	Склеивание древесных материалов и пенопластов
В31-Ф9	3,5–5,0	150–200 (для оргстекла); 700–800 (для оргстекла + лента)	20–25	20–30 мин	0,1–0,3	10	Приклеивание к оргстеклу лавсановой и капроновой лент

Следует отметить, что фенолформальдегидные клеи, не содержащие модифицикаторов, являются достаточно хрупкими. На первом этапе самолетостроения, когда основными используемыми материалами в конструкции самолетов были древесные и тканые материалы, эти клеи успешно использовали. Однако при переходе на металлические материалы их применение стало недопустимым, поскольку кроме хрупкости клея и, как следствие, ограниченного из-за этого ресурса работы клеевых соединений, наличие в составе клеев кислотного отвердителя являлось причиной коррозии склеиваемых металлов. В связи с этим применение клеев такого состава было прекращено.

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 технологии их переработки на период до 2030 г.»).

Материалы и методы

В качестве объектов исследований использованы клеи на основе фенолформальдегидных олигомеров, модифицированных поливинилбутиральфурфуралем (винифлексом) марок ВС-10Т (ГОСТ 22345–77), ВС-10Т-У (ТУ 1-595-14-1285–2011) и ВС-350 (ТУ 6-05-1216–74).

При исследовании свойств оценивали клеящие свойства при сдвиге (по ГОСТ 14759–91), влияние термического (по СТО 1-595-20-101–2016) и

тепловлажностного старения (по ГОСТ 9.707–81), а также воздействие изменения температуры среды – термоциклирование (по ГОСТ 9.707–81).

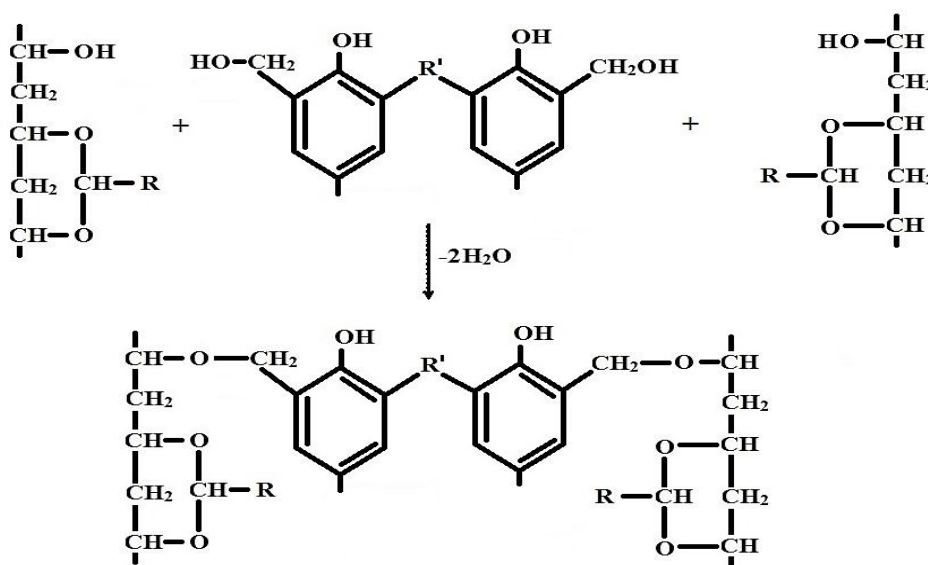
Результаты и обсуждение

При разработке составов клеев фенолформальдегидного типа существенное внимание уделялось снижению их хрупкости. Одним из направлений повышения характеристик эластичности фенолформальдегидных клеев явилось применение поливинилацеталей в качестве модификаторов. Впервые фенолформальдегидные клеи, модифицированные поливинилацетатами, появились за рубежом под маркой Ридакс. Технология склеивания состояла из следующих этапов. Раствор фенолформальдегидного клея наносили на поверхности, подлежащие склеиванию, а затем наносили поливинилбутираль в порошкообразном состоянии. Процесс отверждения соединений проводили при температуре 170 °С, при этом значение удельного давления составляло 1,4 МПа. В процессе испытаний показана возможность повышения прочностных характеристик соединений при сдвиге до 20,7 МПа, прочность соединений при расслаивании повышена в 4 раза [3].

Несмотря на то, что клеи, включающие фенолформальдегидные олигомеры и ацетали поливинилового спирта, разработаны достаточно давно, они до сих пор широко используются в промышленности и занимают важное место среди конструкционных клеев [4]. Клеи могут содержать в своем составе фенолформальдегидные олигомеры как резольного, так и новолачного типов. Следует отметить, что использование олигомеров резольного типа приводит к некоторому снижению термостойкости клеев [5, 6].

Процесс отверждения клея, состоящего из фенолформальдегидного олигомера резольного типа и поливинилацетата, представляет собой совокупность следующих реакций: взаимодействие метилольных групп резольного олигомера с атомами фенольного ядра; реакция между молекулами поливинилацетата и резольного олигомера за счет взаимодействия гидроксильных и метилольных групп, что приводит к образованию пространственно-сшитой структуры.

Основная реакция химического взаимодействия между фенолформальдегидным олигомером и поливинилацетатом представлена на рисунке.



Реакция взаимодействия между фенолформальдегидным олигомером и поливинилацетатом

Модификация фенолформальдегидных олигомеров поливинилацетатами позволяет значительно улучшить их адгезию к различным типам материалов, а также уменьшить скорость отверждения олигомера, благодаря чему в процессе формования становится возможным более полно удалить летучие продукты, образующиеся при отверждении. Улучшаются также электрические свойства отвержденных клеев, а клеевые соединения приобретают более высокую ударную вязкость [7–14].

Примерами клеев на основе фенолформальдегидного олигомера новолачного типа, модифицированного поливинилформальэтилатом (винифлексом), являются клеи марок ВС-10Т и ВС-350. Они отличаются типом использованных в их составе модифицирующих добавок и поставляются потребителям в виде однокомпонентных составов, готовых к использованию.

Клей ВС-10Т имеет следующие характеристики: сухой остаток 15–30 % (по массе), вязкость по ВЗ-1: 50–120 с, гарантийный срок хранения 6 мес. Отверждение клея проводится под давлением 0,06–0,20 МПа при температуре 180 °С.

Характеристики клея ВС-350: условная вязкость 40–93 с по вискозиметру типа ВЗ-246 с диаметром сопла 6 мм, массовая доля нелетучих веществ 25–35 %. Отверждение клея проводится под давлением 0,20 МПа при температуре 200 °С.

В табл. 2–4 содержатся результаты сравнительных испытаний по оценке свойств клеевых соединений, изготовленных с применением клеев ВС-10Т и ВС-350.

Таблица 2

Сравнительные характеристики клеевых соединений, выполненных с использованием клеев ВС-10Т и ВС-350, в исходном состоянии

Склеиваемые материалы	Прочность при сдвиге, МПа, при температуре испытания, °С					
	–60	20	60	200	300	350
Клей ВС-10Т						
Сталь 30ХГСА	14,0	18,4	16,6	9,5	5,1	–
Сталь ЭИ654	14,2	20,0	18,2	–	–	–
Сплав Д19-АТ Ан.Окс.хром	11,7	13,0	11,2	–	–	–
Клей ВС-350						
Сталь 30ХГСА	13,5	18,0	17,8	10,7	–	6,6
Сталь ЭИ654	–	21,5	–	14,0	–	5,3
Сплав Д19-АТ Ан.Окс.хром	–	8,9	–	6,6	–	–

Таблица 3

Сравнительные характеристики клеевых соединений, выполненных с использованием клеев ВС-10Т и ВС-350, после выдержки при повышенных температурах

Условия выдержки		Прочность при сдвиге, МПа, при температуре испытания, °С				
температура, °С	продолжительность, ч	20	150	200	300	350
Клей ВС-10Т						
В исходном состоянии		17,0	14,7	–	7,2	–
80	1800	16,2	14,4	–	6,6	–
200	200	9,0	7,7	–	4,2	–
300	5	–	–	–	6,5	–
Клей ВС-350						
В исходном состоянии		17,9	–	11,0	–	6,8
200	200	13,3	–	10,7	–	6,0
350	5	–	–	–	–	6,0

Таблица 4

Сравнительные характеристики клеевых соединений, выполненных с использованием клеев ВС-10Т и ВС-350, после циклического воздействия переменных температур

Режим цикла		Количество циклов	Прочность при сдвиге, МПа, при температуре испытаний, °С				
температура, °С	продолжительность воздействия, ч		20	150	200	300	350
Клей ВС-10Т							
В исходном состоянии			18,5	15,8	–	6,2	–
20	16 (в воде)	10	10,0	8,5	–	5,9	–
–60	2						
20	1						
60	5						
Клей ВС-350							
В исходном состоянии			17,9	–	11,0	–	6,8
20	16 (в воде)	1	14,3	–	9,5	–	4,3
–60	2	5	14,8	–	10,0	–	6,3
20	1	10	14,9	–	9,7	–	5,6
60	5						

Полученные результаты, представленные в табл. 2–4, показывают следующее. Клеевые соединения, изготовленные с использованием клея ВС-350, по показателю прочности при сдвиге при температурах от –60 до +200 °С сопоставимы со значениями показателей, которые получены для клея ВС-10Т, однако показано, что клей ВС-350 превосходит клей ВС-10Т по теплостойкости как в исходном состоянии, так и после длительного воздействия повышенной температуры и термоциклирования. На основании полученных данных клей ВС-350 рекомендован для длительной эксплуатации при 200 °С в течение 200 ч и при 350 °С в течение 5 ч, в то время как клей ВС-10Т допускается эксплуатировать в течение 5 ч при температуре не более 300 °С.

Так, было организовано серийное производство клеев, которые внедрены в конструкцию изделий различных отраслей промышленности. Клей ВС-10Т отличался высоким и надежным уровнем свойств, за что был отмечен Знаком качества. Клей ВС-10Т нашел применение для изготовления деталей и агрегатов сотовой конструкции в изделиях авиационной техники (антенные обтекатели, магнитопроводы, системы автоматики) и для иного использования. Следует отметить исключительно массовое применение клея ВС-10Т при производстве автомобилей для приклеивания торцевых накладок тормозных устройств.

Ранее в СССР компонент клеев ВС-10Т и ВС-350 – поливинилформальэтилаль (винифлекс) – выпускался за пределами РСФСР, после распада страны производство этого продукта осталось за рубежом и было ликвидировано. Поэтому в последующие годы выпуск этих клеев проводился с использованием винифлекса, поставляемого из Китая. Установлено, что качество этого продукта не позволило получать клеи ВС-10Т и ВС-350 с уровнем характеристик, удовлетворяющим техническим требованиям действующей на них нормативной документации. По этой причине производство клея ВС-350 было прекращено, а клей ВС-10Т использовался для изделий не ответственного назначения.

Поставленная задача по организации производства винифлекса с целью восстановления выпуска клеев на его основе необходимого качества была впоследствии успешно решена специалистами АО «НИИ полимеров им. академика В.А. Каргина».

Этой организацией синтезированы лабораторные образцы, а затем и опытные партии поливинилбутиральфурфурала (ПВБФ) и поливинилформальэтилаля (ПВФЭ), которые испытывали в составе клеевых композиций. В процессе испытаний исследовали совместимость фенолформальдегидных олигомеров с поливинилацетатами, влияние соотношения между этими компонентами, а также смеси этих компонентов с системой органических растворителей на технологические свойства (вязкость, жизнеспособность) модельных клеевых композиций и прочностные характеристики клеевых соединений, выполненных с их применением. Проведенные испытания позволили установить оптимальный состав клея, которому присвоена марка ВС-10Т-У. Свойства соединений, для склеивания которых использован клей ВС-10Т-У, по уровню не уступают свойствам клеев ВС-10Т и ВС-350 (табл. 5).

Таблица 5

Характеристики клея ВС-10Т-У в сравнении с клеями ВС-10Т и ВС-350

Клеи	Прочность при сдвиге, МПа, при температуре испытания, °С		
	20	300	350
ВС-10Т-У	19	10	7,3
ВС-10Т	19	5	Не рекомендуется
ВС-350	16	7	5,5

Клей ВС-10Т-У по внешнему виду является раствором светло-коричневого цвета. Клей имеет вязкость по ВЗ-246 (сопло 6) в пределах от 70 до 73 с, его концентрация 33–35 %. Отверждение клея проходит при температуре 200±5 °С, удельное давление – от 0,15 до 0,2 МПа. Клей используется для соединения сталей разных марок. Клеевые соединения возможно применять при температуре от –60 до +350 °С (при 300 °С в течение 5 ч, при 350 °С в течение 0,5 ч).

Результаты оценки прочности соединений при склеивании стали 30ХГСА после выдержки при температуре 300 °С приведены в табл. 6. Показано, что прочность соединений после термостарения при 300 °С в течение 5 ч незначительно снижается: при 20 °С – на 13 %, при 300 °С – на 15 %.

Таблица 6

Прочность при сдвиге клеевых соединений стали 30ХГСА на клею ВС-10Т-У после выдержки при температуре 300 °С

Условия выдержки		Прочность при сдвиге, МПа, при температуре испытания, °С	
температура, °С	продолжительность, ч	20	300
В исходном состоянии		19,0	10,0
300	5	16,5	8,5

В табл. 7 приведены данные по влиянию воды на прочность соединений, изготовленных с использованием клея ВС-10Т-У, в сравнении с аналогичными данными для клея ВС-10Т.

Приведенные в табл. 7 данные показывают, что клеевые соединения, полученные с применением клея ВС-10Т-У, устойчивы к воздействию воды – снижение прочностных характеристик находится на уровне 8 %. По этому показателю он превосходит клей ВС-10Т, для которого снижение прочности клеевых соединений при испытании при температуре 20 °С через 30 сут выдержки в воде составило 58 %.

Таблица 7

Прочность при сдвиге клеевых соединений стали 30ХГСА после воздействия воды

Условия выдержки	Прочность при сдвиге, МПа, при температуре испытания, °С		
	20	300	350
Клей ВС-10Т-У			
В исходном состоянии	19,0	10,0	7,3
В воде в течение, сут:			
15	17,5	10,0	7,2
30	17,4	10,0	6,8
Клей ВС-10Т			
В исходном состоянии	20,0	5,8	–
В воде в течение, сут:			
15	15,0	5,7	–
20	13,2	4,8	–
30	8,4	4,8	–

Клеевые соединения устойчивы к воздействию тропического климата. Данные, приведенные в табл. 8, показывают, что воздействие на клеевые соединения искусственных тропических условий в течение 3 мес приводит к снижению их прочности на ~24 % при комнатной температуре испытания. При температурах испытания 300 и 350 °С прочность клеевых соединений снижается незначительно.

Таблица 8

Стойкость клеевых соединений на основе клея ВС-10Т-У к воздействию тропического климата

Продолжительность воздействия, мес	Прочность при сдвиге, МПа, при температуре испытания, °С		
	20	300	350
В исходном состоянии	19,0	10,0	7,3
1	17,0	9,3	5,8
3	14,5	9,3	6,9

Выполнены исследования по изучению влияния циклического воздействия температур от –60 до +300 °С на устойчивость клеевых соединений на основе клея ВС-10Т-У. Соединения выдерживали 1 ч при температуре –60 °С, после этого помещали в термостат, нагретый до 300 °С, с выдержкой при заданной температуре 1 ч. Количество таких испытаний составило 10 циклов. Результаты испытаний приведены в табл. 9.

Таблица 9

Механические свойства клеевых соединений при сдвиге стали 30ХГСА на клею ВС-10Т-У после циклического воздействия переменных температур

Режим цикла		Количество циклов	Прочность при сдвиге, МПа, при температуре испытания, °С	
продолжительность воздействия, ч	температура, °С		20	300
В исходном состоянии			19,0	10,0
1	–60	10	16,3	7,0
1	300			

Приведенные в табл. 9 данные подтверждают, что клей ВС-10Т-У устойчив к действию температурного перепада от –60 до +300 °С: прочность после термоциклирования снижается при 20 °С на 14 %, при 300 °С – на 30 %.

В табл. 10 представлены результаты испытаний, которые показывают характер влияния химических сред (ацетона, нефраса, масла ИПМ-10 и топлива ТС-1) на прочностные характеристики соединения стали 30ХГСА.

**Стойкость клеевых соединений стали 30ХГСА на основе клея ВС-10Т-У
к растворителям, маслу и топливу**

Агрессивная среда*	Прочность при сдвиге, МПа, при температуре испытания, °С		
	20	300	350
В исходном состоянии	19,0	10,0	7,3
Ацетон	17,7	11,0	6,6
Нефрас	18,0	10,7	6,6
Масло ИПМ-10	18,0	9,2	7,3
Топливо ТС-1	17,9	11,0	6,2

* Продолжительность выдержки в среде 15 сут.

Данные, представленные в табл. 10, показывают, что химические среды, воздействующие на клеевые соединения в течение 15 сут, снижают прочностные характеристики следующим образом: при 20 °С прочность снижается на 5–7 %, при 300 °С практически не меняется, при 350 °С снижается на 9,5–15 %.

В работе [15] показаны результаты исследований АО «НИИФИ» по применению клеев, в том числе модифицированного фенолформальдегидного клея ВС-350, в средствах измерения деформаций и напряжений в элементах конструкций – тензодатчиков электрического измерения (тензорезисторов марок ЕВ 001, ЕВ 003 и ЕВ 004), что позволяет определить уровень деформаций и напряжений в конструкции изделий спецтехники. Клей доводят до необходимой рабочей вязкости и используют для крепления тензорезисторов к исследуемой поверхности. В результате проведенных испытаний показано, что клей ВС-350 обладает оптимальным комплексом свойств. С использованием клея ВС-350 осуществляли определение часовой ползучести тензорезисторов при температуре 300 °С, чувствительность тензорезисторов при нормальных климатических условиях и при температуре 300 °С. Полученные результаты испытаний показали, что применение клея ВС-350 в конструкции высокотемпературных тензорезисторов обеспечивает соответствие технологии их изготовления техническим условиям на тензорезистор.

Клеи ВС-10Т-У и ВС-350 также могут быть использованы в сотовых конструкциях, в том числе в условиях воздействия внешних эксплуатационных факторов [2, 16–18].

Заключения

Выполнена работа по исследованию отечественных поливинилацеталей, синтезированных в АО «НИИ полимеров им. академика В.А. Каргина». Проведенные испытания позволили установить оптимальный состав клея, которому присвоена марка ВС-10Т-У.

Проведена работа по расширенному исследованию свойств соединений, изготовленных с использованием клея ВС-10Т-У в диапазоне температур от –60 до +350 °С, в том числе после воздействия факторов, имитирующих эксплуатационные. Установлено, что свойства клея ВС-10Т-У при соединении различных материалов находятся на уровне свойств клеев ВС-10Т и ВС-350.

Показано, что фенолформальдегидные клеи ВС-10Т-У и ВС-350, модифицированные поливинилацеталем, применяемые для целей высокотемпературной тензометрии, позволяют решить ответственные народно-хозяйственные задачи.

Список источников

1. Кардашов Д.А. Синтетические клеи. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Химия, 1976. 504 с.
2. Поциус А. Клеи, адгезия, технология склеивания. Пер. с англ. СПб.: Профессия, 2007. 376 с.

3. Аронович Д.А., Варламов В.П., Войтович В.А. и др. Склеивание в машиностроении / под общ. ред. Г.В. Мальшевой. М.: Наука и технологии, 2005. Т. 1. 544 с.
4. Бродский Г.С., Червинская М.А., Радчик Л.Д., Шевелева Р.А. Фенолополивинилацетальные клеи // Пластические массы. 1973. № 6. С. 29–30.
5. Синяков С.Д., Застрогина О.Б., Павлюк Б.Ф. Композиции на основе фенолформальдегидных смол, модифицированных поливинилацетатами (обзор) // Новости материаловедения. Наука и техника. 2018. № 1–2 (29). Ст. 08. URL: <http://materialsnews.ru> (дата обращения: 16.02.2022).
6. Шалун Г.Б., Сурженко Е.М. Слоистые пластики. Л.: Химия, 1978. 232 с.
7. Каблов Е.Н., Старцев В.О. Климатическое старение полимерных композиционных материалов авиационного назначения. I. Оценка влияния значимых факторов воздействия // Деформация и разрушение материалов. 2019. № 12. С. 7–16.
8. Лукина Н.Ф., Петрова А.П., Котова Е.В. Термостойкие клеи для изделий авиакосмической техники // Труды ВИАМ. 2014. № 3. Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 22.03.2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-3-6-6.
9. Шуклина О.В., Лукина Н.Ф. Свойства нового теплостойкого клея ВС-10Т-У // Клеи. Герметики. Технологии. 2012. № 5. С. 8–9.
10. Авиационные материалы: справочник: в 13 т. / под общ. ред. Е.Н. Каблова. М.: ВИАМ, 2019. Т. 10: Клеи, герметики, резины, гидрожидкости. Ч. 1: Клеи, клеевые препреги. 276 с.
11. Лукина Н.Ф., Петрова А.П., Мухаметов Р.Р., Когтёнков А.С. Новые разработки в области клеящих материалов авиационного назначения // Авиационные материалы и технологии. 2017. № 5. С. 452–459. DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-S-452-459.
12. 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.
13. Николаев Е.В., Кириллов В.Н., Скирта А.А., Гращенко Д.В. Исследование закономерностей влагопереноса и разработка стандарта по определению коэффициента диффузии и предельного влагосодержания для оценки механических свойств углепластиков // Авиационные материалы и технологии. 2013. № 3. С. 44–48.
14. 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: 23.03.2022). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-4-70-80.
15. Колоскова О.А., Барковская Н.П., Славкин И.Е., Кудрявцев М.А. Применение высокотемпературного клея ВС-350 в тензометрии // Клеи. Герметики. Технологии. 2019. № 4. С. 42–45.
16. Лаптев А.Б., Барботько С.Л., Николаев Е.В. Основные направления исследований сохраняемости свойств материалов под воздействием климатических и эксплуатационных факторов // Авиационные материалы и технологии. 2017. № 5. С. 547–561. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-547-561.
17. Мурашов В.В. Применение ультразвукового резонансного метода для выявления дефектов клееных конструкций // Авиационные материалы и технологии. 2018. № 1 (50). С. 88–94. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-1-88-94.
18. Цвєрава В.Г., Русин М.Ю., Нєповинных В.И., Химицаєв А.С. Анализ влияния ускоренного климатического старения на прочность клеевых соединений // Клеи. Герметики. Технологии. 2018. № 8. С. 28–31.

References

1. Kardashov D.A. synthetic adhesives. Ed. 3rd, revised. and additional Moscow: Khimiya, 1976, 504 p.
2. Potsius A. *Adhesives, adhesion, bonding technology*. Trans. from Engl. St. Petersburg: Profession, 2007, 376 p.
3. Aronovich D.A., Varlamov V.P., Voitovich V.A. et al. *Bonding in mechanical engineering*. Ed. G.V. Malysheva. Moscow: Nauka i tekhnologii, 2005, vol. 1, 544 p.
4. Brodsky G.S., Chervinskaya M.A., Radchik L.D., Sheveleva R.A. Phenolic-polyvinyl acetal adhesives. *Plasticheskiye massy*, 1973, no. 6, pp. 29–30.

5. Sinyakov S.D., Zastrogina O.B., Pavlyuk B.F. Compositions based on phenol-formaldehyde resins modified with polyvinyl acetals (review). *Novosti materialovedeniya. Nauka i tekhnika*, 2018, no. 1–2 (29), paper no. 08. Available at: <http://materialsnews.ru> (accessed: February 16, 2022).
6. Shalun G.B., Surzhenko E.M. *Laminated plastics*. Leningrad: Khimiya, 1978, 232 p.
7. Kablov E.N., Startsev V.O. Climatic aging of polymer composite materials for aviation purposes. I. Evaluation of the influence of significant factors of influence. *Deformatsiya i razrusheniye materialov*, 2019, no. 12, pp. 7–16.
8. Lukina N.F., Petrova A.P., Kotova E.V. Heat-resistant adhesives used in aviation and space technique. *Trudy VIAM*, 2014, no. 3, paper no. 06. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: March 3, 2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-3-6-6.
9. Shuklina O.V., Lukina N.F. Properties of the new heat-resistant adhesive VS-10T-U. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2012, no. 5, pp. 8–9.
10. *Aviation materials: a reference book: in 13 vols.* Ed. E.N. Kablov. Moscow: VIAM, 2019, vol. 10: Adhesives, sealants, rubbers, hydraulic fluids. Part 1: Adhesives, adhesive prepregs, 276 p.
11. Lukina N.Ph., Petrova A.P., Muhametov R.R., Kogtjonkov A.S. New developments in the field of adhesive aviation materials. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. S, pp. 452–459. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-452-459.
12. Kablov E.N. The role of fundamental research in the creation of new generation materials. *Reports of the XXI Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry: in 6 vols.* St. Petersburg, 2019, vol. 4, p. 24.
13. Nikolaev E.V., Kirillov V.N., Skirta A.A., Grashhenkov D.V. Study of moisture transport rules and development of a standard on measurement of the diffusion coefficient and moisture content limit to evaluate mechanical properties of carbon fiber reinforced plastics. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2013, no. 3, pp. 44–48.
14. 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 23, 2022). DOI: 10.18577/2071-9140-2021-0-4-70-80.
15. Koloskova O.A., Barkovskaya N.P., Slavkin I.E., Kudryavtsev M.A. Application of high-temperature adhesive VS-350 in tensometry. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2019, no. 4, pp. 42–45.
16. Laptev A.B., Barbotko S.L., Nikolaev E.V. The main research areas of the persistence properties of materials under the influence of climatic and operational factors. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. S, pp. 547–561. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-547-561.
17. Murashov V.V. Application of the ultrasonic resonance method for detection of defects of glued constructions. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2018, no. 1 (50), pp. 88–94. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-1-88-94.
18. Tsvetava V.G., Rusin M.Yu., Nepovinnykh V.I., Himitsaev A.S. Analysis of the influence of accelerated climatic aging on the strength of adhesive joints. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2018, no. 8, pp. 28–31.

Информация об авторах

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

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

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

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

Information about the authors

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

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

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

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

Статья поступила в редакцию 28.04.2022; одобрена и принята к публикации после рецензирования 29.04.2022.
The article was submitted 28.04.2022; approved and accepted for publication after reviewing 29.04.2022.