

УДК 665.939.5

Н.Ф. Лукина<sup>1</sup>, А.П. Петрова<sup>1</sup>, Р.Р. Мухаметов<sup>1</sup>, А.С. Когтёнков<sup>1</sup>

## НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ КЛЕЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ АВИАЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-452-459

*Представлены свойства и области применения новых клеящих материалов авиационного назначения: высокопрочных клеев марок ВК-36Т, ВК-97 и ВК-98 для клеевых соединений, в том числе сотовых конструкций, а также клея ВКР-96, предназначенного для склеивания полиуретанового материала с теплоотражающим покрытием. Представлены сведения о технологии приклеивания износостойкого полиуретанового материала ВТП-1В к материалам лопастей вертолетов с применением сочетания клеев ВКР-95 и ВК-93 (в качестве клеевого подслоя).*

**Ключевые слова:** *клей, клеевые соединения, технология склеивания, сотовая конструкция, полиуретановый материал, износостойкий материал.*

*N.F. Lukina, A.P. Petrova, R.R. Muhametov, A.S. Kogtyonkov*

### **New developments in the field of adhesive aviation materials**

*The properties and applications of new adhesive materials for aviation are provided: high strength adhesives VK-36T, VK-97, VK-98 for adhesive joints, including honeycomb structures and adhesive VKR-96 designed for bonding of polyurethane material with heat-reflective coating. Information about the technology of bonding of wear-resistant polyurethane material VTP-1V and materials for the blades of helicopters with application of a combination of adhesives VKR-95 and VK-93 (as adhesive sublayer) is provided.*

**Keywords:** *adhesive, adhesive joints, technology of adhesive joints, honeycomb structure, polyurethane material, wear-resistant material.*

Разработки в области клеящих материалов проводятся в рамках стратегического направления 15. «Наноструктурированные, аморфные материалы и покрытия» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [1]. Разработан ассортимент клеев конструкционного и функционального назначения, которые в авиационной и других отраслях промышленности используются

---

<sup>1</sup> Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation]; e-mail: admin@viam.ru

для изготовления клееных конструкций из металлических, полимерных конструкционных и неметаллических материалов [1–4].

Среди клеев конструкционного назначения наиболее широкое применение нашли высокопрочные эпоксидные клеи, различающиеся диапазоном рабочих температур и по своим прочностным и деформационным свойствам не уступающие лучшим зарубежным аналогам. Клеевые соединения на основе эпоксидных клеев конструкционного назначения обладают высокой длительной прочностью, вибростойкостью, стойкостью к распространению трещин, устойчивостью к воздействию климатических факторов и агрессивных сред, что обеспечило высокий ресурс работы и надежность в эксплуатации клееных конструкций [4–8].

В развитие этого научного направления разработан высокопрочный эпоксидный пленочный клей ВК-36Т конструкционного назначения, который, в сравнении с наиболее востребованным в настоящее время аналогом – пленочным эпоксидным клеем ВК-36, обладает повышенной теплостойкостью – до 180°C (вместо 160°C – для клея ВК-36) [9]. Клей ВК-36Т обеспечивает высокий уровень прочности клеевых соединений в диапазоне рабочих температур: предел прочности при сдвиге при 20°C составляет 29,5 МПа, при 180°C: 20,0 МПа, а также работоспособен длительно (в течение 2000 ч) при температуре 180°C и кратковременно – при температуре 200°C. В табл. 1 представлены свойства клеевых соединений, выполненных с использованием пленочного клея ВК-36Т, при склеивании металлических и неметаллических материалов. Видно, что исследования прочности клеевых соединений после выдержки в камере солевого тумана в течение 30 сут показали – прочность при сдвиге составляет 81–86% от исходной. Установлено, что спустя 90 сут тепловлажностных испытаний (при температуре 60°C,  $\phi=85\%$ ) сохранение прочности составило 65–82% от исходной, что свидетельствует о влагостойкости пленочного клея ВК-36Т.

Испытания клеевых соединений на основе клея ВК-36Т показали, что клей ВК-36Т является грибостойким – балл обрастания 0. После испытаний на грибостойкость прочность при сдвиге составляет 65–85% от исходной, прочность при равномерном отрыве обшивки от сотового заполнителя 80–90% от исходной.

После выдержки образцов клеевых соединений в камере тропиков в течение 90 сут прочность при сдвиге составила 69–77% от исходной, прочность при равномерном отрыве от сот составила 85–100% от исходной, что свидетельствует о тропикостойкости материала.

Таким образом, установлено, что клеевые соединения, выполненные на основе клея ВК-36Т, устойчивы к воздействию факторов, имитирующих эксплуатационные.

Таблица 1

**Свойства клеевых соединений на основе клея ВК-36Т при различных температурах**

Свойства	Склеиваемые материалы	Значения свойств при температуре испытания, °С					
		-60	20	120	150	180	200
Предел прочности при сдвиге, МПа	Сплав Д19-АТ Ан.Окс.хром	31,3	29,3	28,7	27,8	20,0	18,0
	Сталь 30ХГСА	41,4	42,0	42,4	41,0	34,8	32,3
	Стеклопластик ВПС-37К10	–	21,5*	20,9*	–	–	–
	Углепластик ВКУ-30К.Р14535	–	28,3*	–	24,5*	–	–
	Углепластик из клевого препрега КМКУ-2м.120.Э0,1	–	27,7*	23,9*	–	–	–
Предел прочности при равномерном отрыве обшивки от сотового заполнителя, МПа	Сплав Д19-АТ Ан.Окс.хром+соты из фольги АМг2Н (ячейка 2,5 мм)	6,7	5,1	–	–	4,7	–
		Характер разрушения – по сотовому заполнителю					–
Предел прочности при отслаивании, кН/м	Сплав Д19-АТ Ан.Окс.хром	–	1,3	–	–	–	–

\* Характер разрушения – по углепластику.

На основании результатов проведенных исследований высокопрочный пленочный клей ВК-36Т конструкционного назначения рекомендован для склеивания слоистых и сотовых конструкций с обшивками из металлов и неметаллических композиционных материалов, работающих в интервале температур от -60 до +180°С, что в сравнении с отечественным аналогом – клеем ВК-36 (рабочая температура 160°С) позволяет расширить температурный диапазон эксплуатации клееных конструкций.

На основе клеевого связующего марки ВСК-1212 разработан эпоксидный пленочный клей ВК-98 с максимальной рабочей температурой 120°С. Клей предназначен для изготовления деталей конструкционного назначения, в том числе сотовых конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ) на основе эпоксидного связующего ВСЭ-1212, рекомендуемых для применения в конструкциях механизации крыла и мотогондолы самолета.

Основные свойства клея ВК-98 в исходном состоянии и после воздействия различных факторов представлены в табл. 2.

Пленочный клей марки ВК-98 для ПКМ на основе эпоксидного связующего ВСЭ-1212 обладает рабочей температурой 120°С (длительно) и 150°С – кратковременно, по свойствам находится на уровне свойств зарубежного аналога – клея марки Redux 322 фирмы Hexcel, а также превосходит клей марки FM-209-1 фирмы Cytec по прочности при сдвиге при склеивании ПКМ (при 20°С – на 15%, при 120°С – на 65%) и температуре стеклования – на 32%.

Таблица 2

Свойства пленочного клея марки ВК-98

Свойства	Склеиваемые материалы	Условия выдержки	Значения свойств при температуре испытания, °С		
			-60	20	120
Предел прочности при сдвиге, МПа	Сплав Д16-АТ Ан.Окс.хром	В исходном состоянии	17,6	21,0	22,0
		φ=85%, t=60°С в течение 30 сут	12,1	15,2	21,0
		φ=98%, t=28°С в течение 30 сут	15,0	23,3	22,2
		φ=98%, t=28°С+микологическая среда в течение 30 сут	15,3	20,5	24,5
		Камера тропического климата в течение 30 сут	16,4	18,4	20,5
		Камера солевого тумана в течение 30 сут	13,7	20,5	23,0
	Углепластик ВКУ-39	В исходном состоянии	17,3	19,7	19,3
		φ=85%, t=60°С в течение 30 сут	19,0	18,1	21,5
		φ=98%, t=28°С в течение 30 сут	21,6	16,8	23,1
		φ=98%, t=28°С+микологическая среда в течение 30 сут	21,7	16,2	21,7
		Камера тропического климата в течение 30 сут	17,2	19,8	24,6
		Камера солевого тумана в течение 30 сут	20,6	17,1	25,4
Предел прочности при равномерном отрыве обшивки от сотового заполнителя, МПа	Препрег ВКУ-39+ +сотовый наполнитель из фольги АМг2Н (толщина 0,05 мм с ячейкой 2,5 мм)	В исходном состоянии	–	5,0	4,0
		φ=85%, t=(60±2)°С в течение 30 сут	–	4,6	3,8

Отличительной особенностью клея ВК-98 является то, что он позволяет реализовать технологию изготовления деталей трехслойной конструкции по интегральной схеме формования с применением препрега на основе связующего ВСЭ-1212 за один технологический цикл, что сокращает энергозатраты и трудоемкость производства деталей до 40%.

В настоящее время в конструкции приоритетных изделий авиационной техники требуется применение термостойких клеев, в том числе для склеивания обшивок на основе бис-малеинимидного связующего со стеклянными сотами в процессе изготовления сотовых конструкций. Для этих целей разработан пленочный эпоксицианэфирный клей ВК-97, работоспособный длительно при температуре 200°С и обеспечивающий прочность клеевых соединений при сдвиге при склеивании металлических материалов на уровне 19–21 МПа при температурах испытания 20 и 200°С. Прочность клеевых соединений при равномерном отрыве обшивки из углепластика ВКУ-27Л от сотового заполнителя ССП-1 с ячейкой 2,5 мм при этих же температурах составляет 3,0 МПа. В результате проведенных исследований

установлено, что прочность клеевых соединений после воздействия агрессивных факторов и микологической среды сохраняется на уровне исходной прочности. После длительного воздействия температуры 200°С в течение 500 и 1000 ч прочность клеевых соединений повышается (табл. 3).

Таблица 3

**Свойства клеевых соединений на основе клея ВК-97**

Характеристика	Температура испытания, °С	Значения характеристики					
		в исходном состоянии	после старения при температуре 200°С в течение, ч		после воздействия среды в течение, сут		
			500	1000	30	15	
					микологическая (при 28°С, φ=(98±2)%)	топливо ТС-1	масло ИПМ-10
Предел прочности при сдвиге, МПа	20	20,4	26,7	25,3	18,1	20,0	19,1
	200	21,0	21,4	29,3	14,2	22,9	23,2

Клей ВК-97 рекомендован для склеивания углеродистых сталей, титановых сплавов и неметаллических материалов, в том числе ПКМ на основе бис-малеинимидных связующих. Особенностью клея ВК-97 является то, что он в отличие от существующих пленочных клеев способен обеспечить изготовление сотовых конструкций по современной технологии, в процессе которого формование обшивки из препрега углепластика ВКУ-27ЛР на основе связующего ВСТ-1208 и склеивание обшивки с сотовым наполнителем ССП-1 происходит за один технологический цикл, что обеспечивает герметичность сотовой конструкции [10].

Среди клеев функционального назначения клеи резинотехнического назначения нашли широкое применение в отечественной промышленности для склеивания резин различной химической природы между собой, а также с металлами и резинотканевыми материалами. Однако существующие клеи холодного отверждения (4НБув, 51-К-25, ВКР-27 и другие), рекомендованные для соединения тканепленочных материалов и прорезиненных тканей, по своим свойствам (теплопрочностным характеристикам, стойкости к воздействию теплового потока) не удовлетворяют требованиям ТSO-С69с, предъявляемым к материалам для аварийных авиационных надувных трапов.

Разработан клей ВКР-96, предназначенный для склеивания отечественного полиуретанового тканепленочного материала с теплоотражающим покрытием (типа ВРТ-9), что позволит заменить дорогостоящий и дефицитный импортный аналог – клей LA 5102 фирмы Clifton Adhesive (США), применяемый в производстве аварийных авиационных надувных трапов для соединения полиуретановых материалов, разработанных фирмой «Уретек» (США). Клей ВКР-96 обладает в сравнении с отечественными клеями улучшенным комплексом свойств: прочностью при расслаивании тканепленочного материала с полиуретановым покрытием, которая составляет при 20°С –

не менее 0,9 кН/м через 24 ч после склеивания; работоспособностью в интервале температур от -60 до +100°С; влаго- и тропикостойкостью; устойчивостью к воздействию микологической среды и климатических факторов. Клей ВКР-96 также удовлетворяет требованиям АП-25 по пожаробезопасности: по горючести классифицируется как самозатухающий.

Одна из проблем при эксплуатации вертолетной техники во всеклиматических условиях (особенно в условиях пустыни) – повышенный абразивный износ агрегатов вертолетов, в первую очередь – лопастей несущих и рулевых винтов. Для защиты от абразивного износа лопастей несущих и рулевых винтов вертолетов в отечественной практике применяются резины (ВР-3 и другие) и оковки (стальные или титановые). Однако эксплуатация вертолетной техники в условиях повышенного абразивного воздействия требует разработки новых технологий, обеспечивающих дополнительную защиту лопастей вертолетов.

Разработана технология приклеивания износостойкого полиуретанового материала ВТП-1В к материалам лопастей вертолетов с применением сочетания клеев холодного отверждения: эластомерного клея ВКР-95, который рекомендуется для склеивания вулканизированных резин на основе натурального и бутадиен-нитрильных каучуков и прорезиненных тканей между собой и с металлами (углеродистыми сталями, алюминиевыми сплавами) при комнатной температуре, и эпоксидного клея ВК-93 (в качестве клеевого подслоя) [11–14].

Разработанная технология устанавливает последовательность этапов технологического процесса крепления материала ВТП-1В к поверхности лопастей вертолетов из алюминиевых сплавов и стеклопластиков. Применение сочетания клеев ВК-93 и ВКР-95 позволило получить предел прочности клеевых соединений ВТП-1В+Д16-АТ и ВТП-1В+стеклопластик на уровне 3,0–3,1 кН/м, что соответствует техническим требованиям к клеям этого назначения [15, 16].

Клеевые соединения, выполненные с использованием клеев ВКР-95 и ВК-93, устойчивы к воздействию влаги (при влажности  $\varphi=98\%$ ) в течение 1 мес, повышенной температуры (+100°С) – в течение 100–200 ч, тропического климата – в течение 3 мес, циклического воздействия температур (-60÷+100°С) – в течение 10 циклов. Сохранение уровня прочности клеевых соединений после воздействия факторов, имитирующих эксплуатационные, составляет от 81 до 94%.

Применение для дополнительной защиты от абразивного износа агрегатов вертолетов, в том числе лопастей несущих и рулевых винтов, износостойкого материала ВТП-1В, крепление которого осуществляется с использованием клеев ВКР-95 и ВК-93, позволяет увеличить межремонтный срок службы абразивостойкой защиты вертолетной техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
2. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года // Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 7–17.
3. Гращенков Д.В., Чурсова Л.В. Стратегия развития композиционных и функциональных материалов // Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 231–242.
4. Дементьева Л.А., Куцевич К.Е., Лукина Н.Ф., Петрова А.П. Свойства эпоксидных конструкционных клеев, модифицированных полисульфонами // Клеи. Герметики. Технологии. 2016. №11. С. 13–18.
5. Петрова А.П., Дементьева Л.А., Лукина Н.Ф., Аниховская Л.И. Пленочные конструкционные клеи // Клеи. Герметики. Технологии. 2014. №10. С. 7–12.
6. Лукина Н.Ф., Дементьева Л.А., Петрова А.П., Сереженков А.А. Конструкционные и термостойкие клеи // Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 328–335.
7. Петрова А.П., Донской А.А., Чалых А.Е., Щербина А.А. Клеящие материалы. Герметики: справочник. СПб.: Професионал, 2008. 589 с.
8. Каблов Е.Н., Чурсова Л.В., Лукина Н.Ф., Куцевич К.Е., Рубцова Е.В., Петрова А.П. Исследование эпоксидно-полисульфоновых систем как основы высокопрочных клеев авиационного назначения // Клеи. Герметики. Технологии. 2017. №3. С. 7–12.
9. Рубцова Е.В., Шарова И.А., Петрова А.П. Высокопрочный пленочный клей ВК-36Т на основе эпоксидно-полисульфоновой системы // Новости материаловедения. Наука и техника: электрон. науч.-технич. журн. 2016. №6. Ст. 08. URL: <http://www.materialsnews.ru> (дата обращения: 10.02.2017).
10. Меркулова Ю.И., Мухаметов Р.Р., Железняк В.Г., Сафронов А.М. Модифицированные матричные полиизоцианаты // Клеи. Герметики. Технологии. 2014. №10. С. 2–6.
11. Каблов Е.Н., Минаков В.Т., Аниховская Л.И. Клеи и материалы на их основе для ремонта конструкций авиационной техники // Авиационные материалы и технологии. М.: ВИАМ. 2002. №1. С. 61–65.
12. Тюменева Т.Ю., Жадова Н.С., Лукина Н.Ф. Разработки ФГУП «ВИАМ» в области клеев резинотехнического назначения и самоклеящихся материалов // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2014. №7.

- Ст. 04. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 10.02.2017). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-7-4-4.
13. Авдони́на И.А., Лукина Н.Ф. Быстроотверждающийся эпоксидный клей ВК-93 холодного отверждения // Клеи. Герметики. Технологии. 2009. №3. С. 14–17.
  14. Шарова И.А., Лукина Н.Ф., Алексашин В.М., Антюфеева Н.В. Влияние состава на кинетические и прочностные свойства быстроотверждающихся эпоксидных клеевых композиций // Клеи. Герметики. Технологии. 2015. №2. С. 1–5.
  15. Жадова Н.С., Тюменева Т.Ю., Шарова И.А., Лукина Н.Ф. Перспективные технологии для временного оперативного ремонта авиационной техники // Авиационные материалы и технологии. 2013. №2. С. 67–70.
  16. Шарова И.А., Жадова Н.С., Лукина Н.Ф. Клеящие материалы и технологии для временного оперативного ремонта сотовых агрегатов из полимерных композиционных материалов // Клеи. Герметики. Технологии. 2012. №5. С. 36–39.