



УДК 621.792.053

DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-3-6-6

## **ТЕРМОСТОЙКИЕ КЛЕИ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ АВИАКОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ**

Н.Ф. Лукина

*кандидат технических наук*

А.П. Петрова

*доктор технических наук*

Е.В. Котова

**Март 2014**

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем тридцати научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в четырех филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

УДК 621.792.053

DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-3-6-6

*Н.Ф. Лукина, А.П. Петрова, Е.В. Котова*

## **ТЕРМОСТОЙКИЕ КЛЕИ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ АВИАКОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ**

*Приводятся данные о термостойких клеях, разработанных во ФГУП «ВИАМ» на основе элементоорганических, фенольных и карборансодержащих олигомеров, предназначенных для работы в соединениях при температурах до 1200°C. Приведены сведения по основным свойствам термостойких клеев, применяемых в космической и авиационной технике, выпускаемых в настоящее время.*

**Ключевые слова:** *термостойкие клеи, свойства клеевых соединений.*

*A.P. Petrova, N.F. Lukina, E.V. Kotova*

## **HEAT-RESISTENT ADHESIVES USED IN AVIATION AND SPACE TECHNIQUE**

*The article provides information about heat-resistant adhesives, which has been developed by FGUP VIAM, on the basis on element organic, phenolic and carboran-containing oligomers. These adhesives are designed for working in conjunctions in temperatures up to 1200°C. The article covers basic characteristics of the heat-resistant adhesives, which are produced at the present time, for usage in aviation and space technologies.*

**Keywords:** *heat-resistant adhesives, properties of adhesive joints.*

С 50-х годов прошлого века в лаборатории клеев ВИАМ начало развиваться научное направление по созданию термостойких клеев. За годы деятельности лаборатории разработано более 30 марок термостойких клеев с различными функциональными свойствами [1]. Отличительной особенностью термостойких клеев является то, что они эксплуатируются при высоких температурах (от 300 до 1600°C) в условиях ограниченного воздействия кислорода, воды и других факторов. Эта особенность определяет выбор полимеров, обладающих высокой термической устойчивостью. Термостойкие клеи на основе элементоорганических полимеров характеризуются длительной термостойкостью при температурах 300–350°C и выдерживают кратковременный нагрев до 1000–1200°C [2]. Термостойкие клеи, сочетающие более высокий уровень физико-механических характеристик и способность работать при температурах 400–450°C дли-

тельно и до 700–1000°C – кратковременно, созданы в результате модификации различных клеящих полимеров карборансодержащими фрагментами, введение которых практически во все типы клеев приводит к повышению их термостойкости благодаря образованию прочных термостойких вторичных структур, что способствует увеличению прочности клеевых соединений при повышенных температурах [3].

Термостойкие клеи нашли широкое применение во многих изделиях авиакосмической техники. Среди них следует отметить клей-герметик Эластосил 137-175М (разработан совместно с ГНИИХТЭОС) с теплостойкостью до 300°C и удлинением до 120%, который был использован для склеивания широкой гаммы неметаллических материалов в изделии «Буран», в том числе для крепления теплозащиты, что во многом способствовало эффективному полету космического корабля [4, 5].

Необходимо также отметить карборансодержащие клеи марок ВК-20 и ВК-20М, уникальные свойства которых использованы при создании космических станций «Венера-9» и «Венера-10». В конструкции системы теплозащиты клей ВК-20М впервые обеспечил проведение космических исследований в экстремальных условиях планеты Венера при температуре 465–485°C, давлении 9 МПа (90 ат) в среде CO<sub>2</sub>. Клей ВК-20 применен в конструкции приборной техники станций «Венера-9» и «Венера-10» и обеспечил функционирование приборов при проведении научных экспериментов на поверхности планеты [6, 7].

Помимо клеев ВК-20 и ВК-20М был разработан целый ряд карборансодержащих клеев с уникальными свойствами, примерами которых являются фенольно-кремнийорганические клеи ВК-18М и ВК-49, полиуретановые ВК-20МП, ВК-68, ВК-68М, поликарборансилоксановые ВК-48, ВК-48М, ВК-54 и ВК-54М, фенольно-каучуковые жидкие клеи ВК-26, ВК-26М и пленочный ВК-26П, полиэфиркарборановый ВК-64 и поликарборансилоксановый клей ВК-38, модифицированный каучуком. Так, клеевые соединения, выполненные клеем ВК-49, обеспечили длительную работоспособность клеевых соединений при температурах до 500°C, в том числе при 500°C – в течение 100 ч. Однокомпонентные низковязкие клеи ВК-26, ВК-26М и ВК-38, не содержащие наполнителей, обладают способностью работать при температурах 250, 300 и 400°C соответственно.

Однако в связи с неблагоприятным состоянием химической промышленности отмечается прекращение производства целого ряда химических продуктов, которые были использованы в качестве исходных компонентов в составе целого ряда термостойких клеев. Прекращено промышленное производство карборандиолов – исходного сырья

для производства карборансодержащих олигомеров, в связи с чем практически прекращен выпуск карборансодержащих клеев многих марок. Отсутствует промышленное производство поливинилацеталей – поливинилбутиральфурфураля и поливинилформальэтилаля (винифлекса). В связи с этим сняты с производства клеи ВК-40, ВС-350 и некоторые другие. При изготовлении клея ВС-10Т, разработанного на основе винифлекса, используется китайский аналог, в связи с чем ухудшилось качество клея. Прекращено производство фенолформальдегидных олигомеров резольного типа, в связи с чем не изготавливается клей ВК-18. Подобные примеры можно продолжить [8, 9].

Из большого ассортимента разработанных ранее карборансодержащих клеев в настоящее время в ограниченных количествах – на основе импортного карборансодержащего сырья или из имеющихся ограниченных запасов – выпускаются клеи, представленные в табл. 1.

Таблица 1

**Основные свойства и назначение карборансодержащих термостойких клеев**

Клей	Прочность при сдвиге $\tau_v$ , МПа		Интервал рабочих температур, °С	Особые свойства	Назначение
	при 20°С	при повышенной температуре			
ВК-48	6,8	2,0 (400°С)	-60÷+400	Оптически прозрачный	Изготовление оптического пирометра
ВК-38	9,8–14,7	0,49–1,47 (400°С)	-60÷+400	Одноупаковочный	Склеивание металлов и термостойких неметаллических материалов
ВК-26	23,0	6,0 (250°С)	-60÷+300	Одноупаковочный	Склеивание магнитопроводов, монтаж кристаллов
ВК-26М	20,0	5,0 (300°С)	-60÷+350		
ВК-20	16,0	5,0 (400°С)	-196÷+400 (до 700 – временно)	Стойкий к воздействию температуры и агрессивных сред	Приклеивание термостойких неметаллических материалов, теплоизоляции
ВК-20М	8,0	3,0 (400°С)	-196÷+700		

Клей ВК-20 горячего отверждения в настоящее время используется для крепления торцевых контактных уплотнений в конструкции двигателя. Клей ВК-20М холодного отверждения используется для приклеивания и ремонта тепло- и звукоизоляции в зоне двигателя [10, 11].

Изготавливаются клеи ВК-26 и ВК-26М, которые используются для склеивания пакетов магнитопроводов систем управления, монтажа кристаллов в интегральных схемах, эксплуатирующихся при температурах до 250 и 300°С соответственно.

В настоящее время также обеспечены исходными компонентами и выпускаются следующие термостойкие клеи.

Клей ВК-58 холодного отверждения представляет собой многокомпонентную композицию и предназначен для использования в интервале температур от  $-60$  до  $+250^{\circ}\text{C}$  длительно и при  $500^{\circ}\text{C}$  – кратковременно. С применением клея ВК-58 разработана технология ремонта типовых дефектов систем кондиционирования воздуха (СКВ) в зоне двигателя. Клей ВК-58 нашел применение для приклеивания тензорезисторов, используемых для замера деформации при температурах до  $300^{\circ}\text{C}$  в изделиях авиакосмической техники и для других назначений, а также в изделиях бытовой измерительной техники при температурах от  $-60$  до  $+60^{\circ}\text{C}$ . Клей обладает хорошими технологическими свойствами (жизнеспособность клея составляет не менее 5 ч) и является сегодня одним из наиболее востребованных термостойких клеев.

Клей ВК-2 имеет узкое назначение и рекомендован для склеивания металлов (сталь, сплавы титана) и неметаллических материалов (стеклотекстолит, графит), работающих длительно (250 ч) при температуре  $400^{\circ}\text{C}$ , до 3000 ч – при температуре  $350^{\circ}\text{C}$  и кратковременно – при температуре  $1000^{\circ}\text{C}$ . Клей ВК-2 в основном используется в составе уплотнительного материала 18ВК-2Г для ремонта в конструкции авиационных двигателей рабочих колец направляющих аппаратов, лабиринтных втулок и переходников.

Клей ТПК-2 представляет собой водный раствор модифицированного неорганического связующего. Клей работоспособен при температурах до  $1200^{\circ}\text{C}$  и используется в качестве заливочного материала при изготовлении электрических разъемов нагревательных приборов, в датчиковой аппаратуре. Клей ТПК-2 может быть рекомендован для приклеивания футеровки, для склеивания элементов и уплотнения зазоров между ними в конструкции обогревающих устройств [12].

Высокотемпературный клей-цемент ВКП-26Ц горячего отверждения на основе модифицированного кремнийорганического связующего предназначен для крепления проволочной решетки и выводных проводов высокотемпературных тензорезисторов типа ЖЦН-10-120 на деталях ГТД для измерения динамических деформаций в интервале температур от 20 до  $800^{\circ}\text{C}$ .

Разработан высокопрочный теплостойкий (до  $350^{\circ}\text{C}$ ) клей ВС-10Т-У на основе поливинилформальдегида (винифлекса) российского производства со свойствами на уровне клеев ВС-10Т и ВС-350, что позволяет исключить зависимость от импорта. Склеивание клеевых соединений на основе клея ВС-10Т-У проводится при температуре  $200\pm 5^{\circ}\text{C}$ .

Клей ВС-10Т-У является жидким клеем, однокомпонентным в состоянии поставки. Условная вязкость клея по вискозиметру ВЗ-246 с соплом 6 мм составляет 70–73 с, массовая доля сухого остатка: 34% [13].

Сравнительные прочностные характеристики теплостойких клеев ВС-10Т-У, ВС-10Т и ВС-350 приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Прочностные характеристики теплостойких клеев ВС-10Т-У, ВС-10Т и ВС-350**

Клей	Прочность при сдвиге $\tau_b$ , МПа, при температуре °С			Обеспечение сырьем
	20	300	350	
ВС-10Т-У	19,1	9,9	7,3	Выпускается на основе отечественного винифлекса
ВС-10Т	19,1	5,1	Не рекомендован	В настоящее время используют винифлекс китайского производства с нестабильным качеством
ВС-350	16,0	7,0	5,5	

В сравнении с клеем ВС-10Т разработанный клей обладает повышенной прочностью клеевых соединений при сдвиге при температуре испытания 300°С, в сравнении с клеем ВС-350 – более высоким уровнем прочностных характеристик в диапазоне температур от 20 до 350°С.

Исследована устойчивость клеевых соединений на основе клея ВС-10Т-У к воздействию повышенных температур. Установлено, что клей ВС-10Т-У работоспособен при 350°С в течение 5 ч, при этом прочность при сдвиге клеевых соединений на стали 30ХГСА после выдержки при температуре 300°С в течение 5 ч составляет:  $\tau_b^{20^\circ} = 14,4$  МПа,  $\tau_b^{350^\circ} = 6,0$  МПа.

Установлено, что клеевые соединения на основе клея ВС-10Т-У устойчивы к воздействию циклического перепада температур – от -60 до +300°С (10 циклов). Прочность при сдвиге клеевых соединений на стали 30ХГСА после воздействия термоциклирования составляет:  $\tau_b^{20^\circ} = 16,3$  МПа,  $\tau_b^{300^\circ} = 7,0$  МПа, падение значений прочности при сдвиге клеевых соединений при температуре испытаний 20 и 300°С не превысило 15 и 30% соответственно по сравнению с контрольными значениями.

Для приклеивания теплоизоляционных материалов широко применяются клеи ВКТ-2, ВК-15 и ВК-15М. Клей ВКТ-2 представляет собой композицию на основе кремнийорганических и полимеризационных материалов, предназначается для приклеивания стекловолоконистых теплоизоляционных материалов типа АТИМС к коррозионно-стойким сталям различных марок и титановым сплавам, работающим при температуре 400°С в течение 5 ч.

Клеи ВК-15 и ВК-15М представляют собой фенольно-кремнийорганические композиции. Клей ВК-15 предназначается для склеивания теплостойких неметаллических материалов между собой и приклеивания их к металлам (сталям, титановым сплавам) в со-

единениях, работающих при температурах от -60 до +1200°C. Прочность при сдвиге клеевых соединений на стали 30ХГСА составляет:  $\tau_B^{20^\circ} = 8,8$  МПа,  $\tau_B^{350^\circ} = 2,9$  МПа.

Клей ВК-15М предназначается для склеивания теплоизоляционных материалов типа АТМ-6, АТМ-3 между собой и приклеивания их к металлам – сплавам ВНС-2, ОТ4, Д19-АТ в соединениях, работающих при температуре 300–350°C [14].

В опытном производстве ОАО «ГНИИХТЭОС» восстановлено производство клея-герметика Эластосил 137-175М, который выпускается под маркой Эласил. Клей-герметик Эласил 137-175М представляет собой пастообразную вязкотекучую композицию на основе кремнийорганического каучука, катализатора и наполнителей, вулканизирующуюся при контакте с влагой воздуха с образованием резиноподобного материала. Поставляется в готовом для применения виде – в тубах. Клей-герметик Эласил 137-175М работоспособен в интервале рабочих температур от -130 до +300°C и предназначается для склеивания широкой гаммы материалов, таких как: плиточная теплозащита и теплоизоляционные материалы; кремнийорганические резины; ткани с кремнийорганическим покрытием между собой, а также с алюминиевыми, титановыми сплавами, сталью и фетром; стеклоткани и текстильные застежки с алюминиевыми сплавами, стеклопластиком и углепластиком; пленки ПЭТФ со стеклотканью и стеклопластиком.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Демонис И.М. Петрова А.П. Материалы ВИАМ в космической технике //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2011. №6. С. 2–9.
3. Шарова И.А., Петрова А.П. Обзор по материалам международной конференции по клеям и герметикам (WAC-2012, Франция) //Труды ВИАМ. 2013. №8. Ст. 06 (viam-works.ru).
4. Петрова А.П., Лукина Н.Ф. Применение клеев и герметиков в изделии «Буран» //Клеи. Герметики. Технологии. 2009. №1. С. 27–32.
5. Каримова С.А., Павловская Т.Г. Разработка способов защиты от коррозии конструкций, работающих в условиях космоса //Труды ВИАМ. 2013. №4. Ст. 02 (viam-works.ru).
6. Петрова А.П., Лукина Н.Ф. Клеи для многофазовой космической системы //Труды ВИАМ. 2013. №4. Ст. 04 (viam-works.ru).

7. Савенкова А.В., Чурсова Л.В., Елисеев О.А., Глазов П.А. Герметики авиационного назначения //Авиационные материалы и технологии. 2012. №3. С. 40–43.
8. Лукина Н.Ф., Дементьева Л.А., Петрова А.П., Сереженков А.А. Конструкционные и теплостойкие клеи //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 328–335.
9. Гращенков Д.В., Чурсова Л.В. Стратегия развития полимерных композиционных и функциональных материалов //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 231–242.
10. Клеевая композиция: пат. 2471842 Рос. Федерация; опубл. 11.05.2011.
11. Петрова А.П., Лукина Н.Ф., Дементьева Л.А., Тюменева Т.Ю. и др. Клеи для авиационной техники //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 46–52.
12. Петрова А.П. Основные этапы технологии склеивания //Клеи. Герметики. Технологии. 2014. (в печати).
13. Шуклина О.В., Лукина Н.Ф. Свойства нового теплостойкого клея ВС-10Т-У //Клеи. Герметики. Технологии. 2012. №5. С. 8–9.
14. Застрогина О.Б., Швец Н.И., Постнов В.И., Серкова Е.А. Фенолформальдегидные связующие для нового поколения материалов интерьера //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 265–272.

#### REFERENCES LIST

1. Kablov E.N. Strategicheskie napravlenija razvitija materialov i tehnologij ih pererabotki na period do 2030 goda [Strategic directions of development of materials and technologies to process them for the period up to 2030] //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 7–17.
2. Demonis I.M. Petrova A.P. Materialy VIAM v kosmicheskoj tehnike [VIAM materials in space technology] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravocnik. 2011. №6. С. 2–9.
3. Sharova I.A., Petrova A.P. Obzor po materialam mezhdunarodnoj konferencii po klejam i germetikam (WAC-2012, Francija) [Browse by materials of the international conference on adhesives and sealants (WAC-2012, France)] //Trudy VIAM. 2013. №8. St. 06 (viam-works.ru).
4. Petrova A.P., Lukina N.F. Primenenie kleev i germetikov v izdelii «Buran» [Application of adhesives and sealants in the article "Buran"] //Клеи. Герметики. Технологии. 2009. №1. С. 27–32.

5. Karimova S.A., Pavlovskaja T.G. Razrabotka sposobov zashhity ot korrozii konstrukcij, rabotajushhijh v uslovijah kosmosa [Development of methods of corrosion protection structures operating in space] //Trudy VIAM. 2013. №4. St. 02 (viam-works.ru).
6. Petrova A.P., Lukina N.F. Klei dlja mnogorazovoj kosmicheskoj sistemy [Adhesives for reusable space system] //Trudy VIAM. 2013. №4. St. 04 (viam-works.ru).
7. Savenkova A.V., Chursova L.V., Eliseev O.A., Glazov P.A. Germetiki aviacionnogo naznachenija [Sealants aviation applications] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №3. S. 40–43.
8. Lukina N.F., Dement'eva L.A., Petrova A.P., Serezhenkov A.A. Konstrukcionnye i teplostojkie klei [Structural and heat-resistant adhesives] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 328–335.
9. Grashhenkov D.V., Chursova L.V. Strategija razvitija polimernih kompozicionnyh i funkcional'nyh materialov [The development strategy of polymer composite and functional materials] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 231–242.
10. Kleevaja kompozicija [The adhesive composition]: pat. 2471842 Ros. Federacija; opubl. 11.05.2011.
11. Petrova A.P., Lukina N.F., Dement'eva L.A., Tjumeneva T.Ju. i dr. Klei dlja aviacionnoj tehniki [Adhesives for aircraft] //Rossijskij himicheskij zhurnal. 2010. T. LIV. №1. S. 46–52.
12. Petrova A.P. Osnovnye jetapy tehnologii skleivanija [Main stages of bonding technology] //Klei. Germetiki. Tehnologii. 2014. (v pečati).
13. Shuklina O.V., Lukina N.F. Svoystva novogo teplostojkogo kleja VS-10T-U [Properties of a new heat-resistant adhesive Sun-10T-U] //Klei. Germetiki. Tehnologii. 2012. №5. S. 8–9.
14. Zastrogina O.B., Shvec N.I., Postnov V.I., Serkova E.A. Fenolformal'degidnye svjazujushhie dlja novogo pokolenija materialov inter'era [Phenol-formaldehyde binders for the new generation of interior materials] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 265–272.