

УДК 621.792

Л.Л. Краснов¹, О.А. Елисеев¹, З.В. Кирина¹,
М.А. Венедиктова¹, В.А. Роговицкий²

ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДИФИКАЦИЯ ТЕРМОСТОЙКОГО ГЕРМЕТИЗИРУЮЩЕГО СОСТАВА И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛЕНТОЧНОГО ГЕРМЕТИКА НА ЕГО ОСНОВЕ

DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-4-8-8

Рассмотрены результаты экспериментальной работы по уточнению рецептуры пастообразного герметика марки ВИКСИНТ У-2-28 в части замены гидрофобизирующей и структурирующей жидкости ГКЖ 136-41 на гидрофобизирующие жидкости Пента 808А или Пента 804. Причина такой замены обусловлена проблемой приобретения жидкости полиэтилгидридсилоксана ГКЖ 136-41 из-за отсутствия исходного сырья – продукта этилдихлорсилана. Приведены результаты сравнительного анализа технологических, физических, механических свойств ленточных герметиков, изготовленных с использованием различных гидрофобизирующих жидкостей.

Ключевые слова: ленточный герметик, кремнийорганический эластомер, гидрофобизирующая жидкость.

This article describes the results of experimental work to clarify the formulation of paste-like sealant brand VIKSINT U-2-28 replacement part hydrophobic and the structuring of the liquid GKZh 136-41 on the hydrophobic liquid Penta 808A or Penta 804. The reason for this replacement is due to the problem of getting liquid polyethylsiloxane GKZh 136-41 due to the lack of raw materials – product ethyldichlorosilane. The results of comparative analysis of technological, physical, mechanical properties of band sealers are fabricated using a variety of water-proofing fluids.

Keywords: band sealer, silicone elastomer, hydrophobic liquid.

¹Федеральное 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

²Публичное акционерное общество «Компания «Сухой» «ОКБ Сухого» [Public Stock Company «Sukhoi Aviation Holding Company Sukhoi Design Bureau branch»]; e-mail: info@sukhoi.org

Введение

В настоящее время наблюдается устойчивая тенденция увеличения потребности в применении полимерных композиционных материалах (ПКМ) во всех отраслях машиностроения. Практически невозможно выполнить ни одного технического решения без использования ПКМ в конструкциях изделия.

Особенно эффективность ПКМ проявляется при их применении в качестве герметизирующих материалов в изделиях авиационной техники. В этих изделиях необходимо обеспечить герметизацию не только отдельных конструктивных узлов, а всю конструкцию самолета в целом. Задача усложняется тем, что герметизирующие материалы должны работать в различных атмосферных условиях и противостоять воздействию таких агрессивных факторов, как ультрафиолет, озон, радиация, влага, вода, продукты авиационного топлива, масла и т. д. Кроме того, они должны быть работоспособны в условиях воздействия температуры от -60 до +300°С [1–8].

Отечественной промышленностью выпускается значительный ассортимент герметиков. Во ФГУП «ВИАМ» длительное время ведутся работы по исследованию и созданию новых модификаций герметизирующих материалов на основе кремнийорганических эластомеров. Отличительной особенностью кремнийорганических герметиков является их способность переходить из пастообразного состояния в эластичное под воздействием вулканизирующих агентов без нагрева.

Эти материалы обеспечивают герметизацию различных по сложности и назначению конструкций узлов и агрегатов. Композиции герметиков на основе кремнийорганических эластомеров обладают высокой стойкостью к различным факторам старения, способны эксплуатироваться в различных климатических условиях в широком интервале температур.

В настоящее время разработано и рекомендовано к применению более 15 пастообразных герметизирующих композиций, которые нашли широкое применение в промышленности, в том числе в авиационной, для герметизации элементов конструкций, остекления, приборов и т. д.

При герметизации некоторых конструкций требуется обеспечить возможность многоразовых разборок и сборок узлов, съема конструктивных элементов с последующей их сборкой. Такую задачу возможно успешно решить путем применения ленточного герметизирующего материала [9, 10].

Одним из важных требований к герметизирующим материалам является температура эксплуатации. Температурный фактор эксплуатации может иметь место как в нестационарных, так и в стационарных изделиях (приборы, строительная индустрия). Для герметизации топливных отсеков летательных аппаратов разработан ленточный герметизирующий материал марки ВГМ-Л, работоспособный при температуре от -60 до $+130^{\circ}\text{C}$. В связи с повышением требований к условиям эксплуатации при создании новых летательных аппаратов поставлена задача по обеспечению работоспособности загерметизированных соединений элементов и агрегатов при температуре эксплуатации 180°C и выше. Работа проводилась в рамках реализации комплексного стратегического направления 15.2. «Эластомерные и уплотнительные материалы» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [11].

Опыт изготовления и применения ленточного герметика ВГМ-Л на рабочую температуру до 120°C показал ряд технических преимуществ этого герметизирующего материала в сравнении с герметизацией герметиками жидкой консистенции, а именно:

- повышение надежности и стабильности загерметизированных сопрягаемых конструкций благодаря тому, что герметизация осуществляется строго нормированным по толщине ленточным герметиком. Толщина герметизирующих лент выбирается в зависимости от величины зазоров в сопрягаемых поверхностях и с учетом их обжатия от 30 до 50% к выбранному номиналу в элементах конструкций агрегата;
- улучшение санитарно-гигиенических условий труда и культуры производства;
- снижение количества технологических отходов при герметизации – предсказуемый расход герметизирующего материала по сопрягаемой площади для конструктивных элементов;
- исключение зависимости процесса сборки и герметизации конструкций агрегатов от жизнеспособности герметизирующей композиции жидкого герметика [12–14].

Материалы и методы

Во ФГУП «ВИАМ» на основе кремнийорганических олигомеров (полидиметилсилоксанового каучука) разработаны герметики типа ВИКСИНТ. Эти герметики представляют собой пастообразную массу, состоящую из двух- или трехкомпонентной системы. Основным преимуществом этих материалов является высокая технологичность и температуростойкость:

- процесс вулканизации производится без дополнительного нагрева;
- материалы работают в интервале температур от -60 до +300°C;
- имеют высокий уровень механических свойств;
- возможность регулировать скорость вулканизации композиции путем дозировки и подбора вулканизирующей системы.

Композиция после смешения герметизирующей пасты с вулканизирующими компонентами при комнатной температуре переходит в резиноподобное состояние. Для обеспечения адгезионных свойств перед нанесением герметизирующего слоя необходимо на поверхность нанести подслои П-9 или П-11.

В табл. 1 представлены основные свойства пастообразных герметиков типа ВИКСИНТ. Из указанных марок герметиков типа ВИКСИНТ, герметик марки У-2-28 получил наибольшее применение в изделиях авиационной техники [15]. Эта композиция выбрана для создания рецептуры высокотемпературного ленточного герметика ВГМ-Л-3.

Таблица 1

Свойства пастообразных герметиков типа ВИКСИНТ

Свойства	Значения свойств для герметика марки			
	У-1-18	У-4-21	У-2-28	У-10-80
Внешний вид композиции	Паста	Вязкая паста	Паста	Паста
Рекомендуемые условия работы герметиков при температуре, °С: на воздухе	-60÷+300	-60÷+300	-60÷+300	-60÷+300
без доступа воздуха	–	–	-60÷+250	-60÷+400
Предел прочности при отслаивании, кН/м	1,4	0,5	1,5	1,0
Условная прочность в момент разрыва, МПа (не менее)	2,5	1,5	2,0	1,8
Относительное удлинение в момент разрыва, %	170	100	275	160
Время работы при максимальной температуре, ч	250	400	1200 при 250°C; 200 при 300°C	5

В качестве полимерной основы термостойкого ленточного герметика выбран жидкий диметилсилоксановый каучук СКТН марки А. Выбор этого каучука обусловлен следующими соображениями:

- каучук обладает минимальной вязкостью, что облегчает достижение высокой однородности при смешивании компонентов с наполнителями и вулканизирующими агентами;
- полимер обладает высокими эксплуатационными свойствами – термостойкостью, морозостойкостью, стойкостью к атмосферным воздействиям и т. д. [16].

В табл. 2 приведено сравнение качественных показателей кремнийорганических гидрофобизирующих жидкостей [17].

Таблица 2

Качественные показатели рекомендуемых гидрофобизирующих жидкостей

Наименование продукта	Кинематическая вязкость кипения при температуре $-25\pm 5^\circ\text{C}$, $\text{мм}^2/\text{с}$	Массовая доля активного водорода, %	pH водной вытяжки
ГКЖ 136-41	50–163	1,30–1,42	6–8
Пента 804	20–40	1,50–1,70	6–7
Пента 808А	100–120	1,00–0,80	6–7

Из приведенных в табл. 2 данных видно, что наиболее близким по качественным характеристикам по отношению к гидрофобизирующей жидкости ГКЖ 163-41, в том числе по содержанию активного водорода, является жидкость марки Пента 804.

Анализ основных свойств пастообразных герметиков показал, что для достижения заданных технологических, физических и эксплуатационных свойств в качестве матрицы в герметизирующих составах должны быть использованы полимерные силоксановые эластомеры СКТН и СКТН марки А.

С учетом особенности технологии получения ленточного герметика ВГМ-Л установлено, что наиболее пригодным соединением для приготовления ленточного герметика ВГМ-Л-3 на основе кремнийорганической матрицы является низкомолекулярный кремнийорганический эластомер СКТН марки А. Особенностью этого компонента является пониженная вязкость (90–150 с по ВЗ-240), которая обеспечивает более качественное совмещение с порошкообразными наполнителями.

В процессе отработки технологии опробованы следующие технологические процессы изготовления опытных образцов:

- формование в пресс-форме;
- протяжка армирующего слоя через раствор герметизирующего состава на пропильной машине;
- формование ленты между транспортной и защитной пленками путем протяжки их через калибровочные валики.

Из перечисленных процессов изготовления ленточного герметика выбрана технология изготовления экспериментальных образцов – формование ленты на транспортной подложке с последующей протяжкой между калибровочными валиками. Изготовлены экспериментальные образцы герметика ВГМ-Л-3 и проведены исследования технологических параметров их изготовления – условия смешения исходных компонентов, время жизнеспособности композиции, условия формования герметизирующей ленты (скорость протяжки, величина формирующего калибровочного зазора т. д.).

В рецептуре приготовления экспериментальных образцов изменялся только гидрофобизирующий компонент. В соответствии с рецептурой экспериментальной композиции, рассчитанной в массовых частях, изготовлены три варианта образцов с различным гидрофобизатором:

- полиэтилгидридсилоксановой жидкостью ГКЖ 136-41;
- полиметилгидридсилоксановой жидкостью Пента 804;
- полиалкилгидридсилоксановой жидкостью Пента 808А.

Компоненты, примененные в экспериментальных образцах, и некоторые технологические характеристики приведены в табл. 3.

Таблица 3

Экспериментальные ленточные герметики и технологические характеристики материала на их основе

Состав композиции ленточного герметика	Размер формуемого зазора, мм	Фактическая толщина материала*, мм	Совмещение композиции	Скорость протяжки, мм/мин	Внешний вид
Паста У-2-28+ГКЖ 136-41	1,4±0,05	<u>1,3–1,5</u> 1,4	Следов разделений на фракции и желирования не обнаружено	0,5–1,0	Срезов вдоль ленты и поперечных видимых пузырей, трещин не обнаружено
Паста У-2-28+жидкость Пента 804	1,4±0,05	<u>1,35–1,50</u> 1,40		0,5–1,0	
Паста У-2-28+жидкость Пента 808А	1,4±0,05	<u>1,30–1,40</u> 1,35		0,5–1,0	

* В числителе – минимальные и максимальные значения, в знаменателе – средние.

Анализ технологических параметров при изготовлении экспериментальных композиций с использованием гидрофобизирующих жидкостей Пента 804 и Пента 808А показал, что применение новых кремнийорганических жидкостей не ухудшает технологических параметров и качества внешних поверхностей и физических свойств ленточного герметика.

Результаты

Анализ результатов исследования влияния типа гидрофобизатора на физические и технологические характеристики показал, что химический состав гидрофобизатора не влияет на физические свойства ленточного герметика. Так, среднее значение толщины ленточного герметика при толщине формуемого зазора 1,4±0,05 мм равно 1,35±0,05 мм. При изготовлении пасты заметных следов разделения пасты не наблюдается. Качество отформованной ленты хорошее – без вздутий и раковин.

В табл. 4 показаны результаты испытаний физических и механических свойств ленточного герметика, изготовленного с использованием различных по химическому составу гидрофобизаторов [18]. Исследовано изменение физико-механических свойств от температуры и продолжительности экспозиции ленточного материала на основе трех экспериментальных композиций: ГКЖ 136-41, Пента 804 и Пента 808А. Анализ результатов показал, что условная прочность при растяжении в момент разрыва на образцах, подвергнутых термообработке при температуре 180°С в течение 60 ч, увеличилась на образцах с гидрофобизатором Пента 804 – на 22%, на образцах с гидрофобизатором Пента 808А – на 10%. Относительное удлинение в момент разрыва уменьшилось в композиции с гидрофобизатором ГКЖ 136-41 – на 25%, в композиции с гидрофобизатором Пента 804 – на 7%, в композиции с гидрофобизатором Пента 808А – на 21%. Плотность материала практически не изменилась. Твердость по Шору А в материале с гидрофобизатором Пента 804 увеличилась на 6 усл. ед., с гидрофобизатором ГКЖ 136-41 – на 8 усл. ед.

Таблица 4

**Физико-механические свойства герметика ленточного
в исходном состоянии и после температурного воздействия**

Свойства	Требования по ТУ	Значения свойств* композиции		
		ГКЖ 136-41	Пента 804	Пента 808А
Условная прочность в момент разрыва, МПа (не менее)	2,0	2,34/2,54	2,46/2,99	2,25/2,47
Относительное удлинение в момент разрыва, % (не менее)	200	320/256	232/216	242/200
Относительное остаточное удлинение после разрыва, % (не более)	80	4,65/4,5	7,5/6,0	4,5/2,8
Твердость по Шору А, усл. ед. (не менее)	35	37/45	42/48	42/45
Плотность, г/см ³ (не более)	2,20	1,85/1,90	1,87/1,88	1,93/1,89

* В числителе – в исходном состоянии, в знаменателе – после воздействия температуры 180°С в течение 60 ч.

Результаты анализа показали, что предпочтительным вариантом является рецептура на основе гидрофобизатора Пента 804.

Для дальнейшей оптимизации рецептуры выбраны варианты с гидрофобизатором ГКЖ 136-41 и жидкостью Пента 804.

В ходе экспериментальных работ исследовали физико-механические свойства ленточных герметиков, изготовленных на стандартном гидрофобизаторе ГКЖ 136-41 и его заменителе Пента 804. Изготовлены экспериментальные партии ленточных герметиков толщиной 1,0±0,05 мм на основе одних и тех же исходных компонентов с использованием одних и тех же технологических процессов по смешению исходных материалов, при постоянном зазоре в формующем узле установки для калибровки толщины ленточного герметика с одной и той же скоростью протяжки и соответствующей длительностью вулканизации. Все работы по изготовлению эластомерных образцов, замеру физических и механических показателей проводили в помещении при температуре не ниже 18°С и относительной влажности не более 85%. Результаты испытаний экспериментальных композиций лент приведены в табл. 5.

Таблица 5

**Физико-механические свойства ленточного герметика
с различными гидрофобизирующими жидкостями**

Композиция ленточного герметика	Условный номер образца	Толщина, мм	Относительное удлинение, %	Предел прочности при растяжении, МПа	Твердость по Шору А, усл. ед.	Плотность, г/см ³
ВГМ-Л-3+ +ГКЖ 136-41	1	1,0	240	2,56	42	2,16
	2	1,0	280	2,50	42	
	3	1,1	280	2,76	42	
	4	1,0	280	2,41	42	
	5	1,1	280	2,54	42	
	Среднее значение			272	2,55	
ВГМ-Л-3+ +Пента 804	1	1,0	240	2,26	45	2,17
	2	1,1	200	2,56	45	
	3	1,1	220	2,47	45	
	4	1,0	220	2,69	45	
	5	1,0	200	2,79	45	
	Среднее значение			216	2,55	

Сравнительный анализ технологических, физических и механических свойств показал, что ленточные герметики, изготовленные с использованием гидрофобизирующих жидкостей ГКЖ 136-41 и Пента 804, полностью соответствуют техническим

условиям на материал ВГМ-Л-3. Для дальнейших исследований свойств ленточного герметика ВГМ-Л-3 выбрана рецептура с применением гидрофобизатора Пента 804 по ТУ 229-013-402450042-00, производство которого освоено промышленностью.

При изготовлении ленточных герметиков важным определяющим качеством материала является его толщина. Представляет практический интерес исследование разнотолщинности ленточных герметиков для высоковязкой системы ВГМ-Л-3. Поскольку неизвестно, как зависит разнотолщинность ленты в процессе ее формования в калибровочном узле, необходимо было установить зависимость толщины отформованной ленты от размера калибровочного зазора. При изготовлении ленточного герметика зазор между калибровочными валками в формующем узле измеряли с помощью щупа. Результаты по размеру зазора между валками и фактической толщиной ленты приведены в табл. 6.

Таблица 6

Толщина ленточного герметика ВГМ-Л-3 в зависимости от размера калибруемого зазора

Размер зазора, мм	Фактическая толщина, мм
0,45	0,45–0,54
0,85	0,90–1,10
1,30	1,40–1,60
1,80	1,90–2,10
2,80	2,85–3,10

Результаты исследования влияния размера зазора между калибровочными валками на толщину изготовленной ленты показали, что разнотолщинность ленточного герметика не зависит от толщины формируемой ленты, а зависит от точности изготовления валков и их соосности. При изготовлении полотна герметика шириной 300–400 мм разброс по толщине составил $\pm 0,1$ мм. Такое значение получено для номиналов герметизирующих лент толщиной от 0,5 до 3,0 мм. Значение относительного показателя разброса по толщине находится в прямой зависимости от толщины ленты. Так, при изготовлении герметизирующих лент толщиной 0,5 мм соотношение относительного значения показателя разброса к толщине ленты составило $\sim 20\%$, для толщины до 3 мм показатель разброса составило всего 3,3%. При этом необходимо отметить, что в среднем толщина отформованного полотна герметизирующих лент на 10% больше, чем величина зазора между калибрующими валиками. Можно предположить, что такая зависимость при формировании высоковязких систем связана с процессом деформации. При прохождении формуемой массы через формовочный узел масса сжимается и вытягивается, а после выхода из зазора – разжимается и втягивается.

На основе оптимального варианта герметизирующих лент (исходные материалы выпускаются отечественной промышленностью) изготовлены экспериментальные композиции ленточного герметика ВГМ-Л-3, на которых провели испытания физико-механических и эксплуатационных свойств. Оценку физических свойств проводили по следующим показателям:

- внешнему виду по ОСТ 90-0903–28;
- плотности по ГОСТ 267–73;
- твердости по Шору А по ГОСТ 263–75;
- пределу прочности в момент разрыва и относительному удлинению после разрыва при температуре 20°C по ГОСТ 21751–76;
- пределу прочности и относительному удлинению в момент разрыва при температурах -60, 90, 150, 180 и 200°C в среде воздуха по ГОСТ 21751–76.

Результаты испытаний физико-механических свойств приведены в табл. 7.

Таблица 7

Физико-механические свойства ленточного герметика ВГМ-Л-3

Свойства	Требования по ТУ	Значения свойств*
Внешний вид герметизирующей ленты	Резиноподобный материал от белого до розового цвета. Поверхность гладкая, ровная без разрывов и пузырей. Допускается разнооттеночность	Резиноподобный материал розового цвета. Поверхность гладкая, ровная без разрывов и пузырей. Допускается разнооттеночность
Размеры ленточного герметика, мм:		
длина	Не менее 1000±25	1000±25
ширина	Не менее 100±2	100±2
толщина	1,5±0,1	1,54
Плотность, г/см ³	Не более 2,2	<u>1,95–2,10</u> 2,0
Твердость по Шору А, усл. ед.	Не менее 35	<u>40,0–42,0</u> 42,2
Условная прочность в момент разрыва, МПа	Не менее 2,0	<u>2,44–2,64</u> 2,57
Относительное удлинение в момент разрыва, %	Не менее 200	<u>280–320</u> 292
Остаточное удлинение после разрыва, %	Не более 8	<u>0–4</u> 0,8

* В числителе – минимальные и максимальные значения, в знаменателе – средние.

Таблица 8

Механические свойства* ленточного герметика ВГМ-Л-3 при различных температурах

Температура испытания, °С	Условная прочность в момент разрыва, МПа	Относительное удлинение в момент разрыва, %	Остаточное удлинение после разрыва, %
-60	<u>6,00–6,30</u> 6,14	<u>240–325</u> 282	<u>0,8–2,10</u> 1,48
20	<u>2,60–3,20</u> 2,98	<u>220–300</u> 261	<u>2,40–3,80</u> 3,00
90	<u>2,00–2,50</u> 2,32	<u>180–240</u> 212	<u>1,80–3,60</u> 2,92
150	<u>1,40–1,80</u> 1,64	<u>120–180</u> 148	<u>1,80–2,00</u> 1,78
180	<u>0,90–1,20</u> 1,08	<u>85–155</u> 126	<u>0,80–1,40</u> 1,08
200	<u>0,90–1,10</u> 1,00	<u>80–100</u> 87	<u>0,60–1,90</u> 1,12

* В числителе – минимальные и максимальные значения, в знаменателе – средние.

Таблица 9

Механические свойства* ленточного герметика ВГМ-Л-3 после выдержки в среде воздуха при различных температурах и разном времени

Свойства	Значения свойств				
	в исходном состоянии	после выдержки при температуре в течение, ч			
		2000 (90°С)	160 (150°С)	60 (180°С)	60 (200°С)
Условная прочность в момент разрыва, МПа (ГОСТ 21751–76)	<u>2,26–2,79</u> 2,55	<u>2,97–3,34</u> 3,11	<u>3,00–3,34</u> 3,19	<u>3,00–3,31</u> 3,15	<u>2,94–3,21</u> 3,11
Относительное удлинение в момент разрыва, % (ГОСТ 21751–76)	<u>240–290</u> 272	<u>220–240</u> 224	<u>210–240</u> 222	<u>200–220</u> 216	<u>200–220</u> 208
Остаточное удлинение после разрыва, % (ГОСТ 21751–76)	<u>4–7</u> 5	0	0	0	0

* В числителе – минимальные и максимальные значения, в знаменателе – средние.

Таблица 10

**Механические свойства* ленточного герметика ВГМ-Л-3
после воздействия различных агрессивных сред**

Свойства	Значения свойств					
	в исходном состоянии	после воздействия агрессивной среды				
		масло МС-8П	масло ВНИИ НП 50-1-4ф	масло ВНИИ НП 50-1-4у	гидро-жидкость 7-50С-3	топливо ТС-1
Условная прочность в момент разрыва, МПа (ГОСТ 21751-76)	<u>2,26–2,79</u> 2,55	<u>2,41–2,89</u> 2,61	<u>2,26–3,07</u> 2,69	<u>2,04–2,98</u> 2,62	<u>1,67–2,40</u> 1,92	<u>2,64–3,26</u> 2,91
Относительное удлинение в момент разрыва, % (ГОСТ 21751-76)	<u>240–290</u> 272	<u>240–300</u> 260	<u>240–320</u> 280	<u>280–290</u> 276	<u>240–280</u> 264	<u>260–280</u> 276
Остаточное удлинение после разрыва, % (ГОСТ 21751-76)	<u>4–7</u> 5	0	0	0	0	0
Твердость по Шору А, усл. ед. (ГОСТ 263-75)	<u>40–42</u> 42,2	<u>36–40</u> 38	<u>38–45</u> 42	<u>38–43</u> 40	<u>34–38</u> 36	<u>43–47</u> 45

* В числителе – минимальные и максимальные значения, в знаменателе – средние.

Проведенная оценка прочностных показателей экспериментального ленточного герметика на соответствие требованиям ТУ1-595-28-1406-2013 показала, что материал ВГМ-Л-3 на гидрофобизирующей жидкости Пента 804 по всем показателям не только соответствует материалу, приготовленному согласно ТУ, но и несколько превосходит его.

Как отмечалось ранее, важным отличительным свойством материалов на кремнийорганическом эластомере является их термическая стойкость. Результаты испытаний механических свойств образцов при различных температурах приведены в табл. 8. В ходе исследований проводили испытания материала при температурах от -60 до +200°С. Следует обратить внимание на низкие показатели по остаточному удлинению образцов после разрыва, которое практически не зависит от температуры испытаний.

В условиях эксплуатации (особенно при повышенных температурах) важно, чтобы герметизирующий материал со временем сохранял исходные механические свойства. Приведенные в табл. 9 результаты испытаний показали, что ленточный герметик ВГМ-Л-3 после воздействия различных температур при разном времени выдержки сохранял механическую прочность без изменения.

В процессе эксплуатации герметизирующие материалы подвергаются воздействию агрессивных сред. Результаты испытаний герметизирующего материала в агрессивных средах приведены в табл. 10. Анализ приведенных испытаний показал, что упруго-прочностные свойства ленточного герметика на экспериментальных образцах после воздействия различных агрессивных сред практически не изменились, что свидетельствует об устойчивости ленточного герметика на основе органической композиции с использованием гидрофобизатора-заменителя к различным эксплуатационным факторам.

Важным технологическим фактором, влияющим на эксплуатационные показатели герметика, является допустимость окрашивания изделий на его основе. Оценку возможности окрашивания ленточного герметика ВГМ-Л-3 проводили при использовании лакокрасочного покрытия марки КО-5229. Образцы герметика окрашивали эмалью КО-5229 (два слоя) в соответствии с технологическим регламентом на покрытие. Адгезионную прочность лакокрасочного покрытия КО-5229 определяли по ГОСТ 15140-69 по методике решетчатых надрезов. Результаты испытаний приведены в табл. 11.

Таблица 11

**Адгезионная прочность лакокрасочного покрытия КО-5229,
нанесенного на ленточный герметик**

Структура покрытия	Метод испытания	Адгезионная прочность	
		по ТУ	фактический результат
Герметик ленточный ВГМ-Л-3 (толщина 1,0 мм)+эмаль КО-5229 (2 слоя)	По ГОСТ 15140–69	Не ниже 2 балла	1 балл

Обсуждение и заключения

Разработан термостойкий ленточный герметик ВГМ-Л-3, который по технологическим и эксплуатационным свойствам не только не уступает значениям показателей действующих технических условий ТУ1-595-28-1406–2013 на аналогичный по назначению материал, но и несколько превосходит их.

В процессе разработки:

- проведены исследования и корректировка рецептуры герметизирующего состава путем замены дефицитной кремнийорганической полиэтиленгидридсилоксановой гидрофобизирующей жидкости марки ГКЖ 136-41 на полиметилгидридсилоксановый кремнийорганический гидрофобизатор – Пента 804;

- выбран способ изготовления ленточного герметика путем протягивания транспортной и изоляционной пленки через калибрующий узел, формирующий ленточное полотно заданной ширины, толщины и длины;

- исследованы механические свойства ленточного герметика ВГМ-Л-3 при воздействии температуры, близкой к условиям эксплуатации;

- исследовано влияние агрессивных сред на прочностные свойства ленточного герметика.

Ленточный герметик может применяться для внутришовной герметизации крупногабаритных отсеков фюзеляжей, крышек, заглушек и т. д., работоспособен при температуре от -60 до +180°C.

Практическое применение ленточного герметика ВГМ-Л-3 исключает зависимость процесса сборки узлов от жизнеспособности композиции, стабилизирует качество герметизируемого шва.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Авиакосмическое материаловедение // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2008. №3. С. 2–14.
2. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года // Авиационные материалы и технологии. 2012. №8. С. 7–17.
3. Ерасов В.С., Котова Е.А. Эрозионная стойкость авиационных материалов к воздействию твердых (пылевых) частиц // Авиационные материалы и технологии. 2011. №3. С. 30–36.
4. Наумов И.С., Петрова А.П., Чайкун А.М. Резины уплотнительного назначения и снижение их горючести // Все материалы Энциклопедический сборник. 2013. №5. С. 28–35.
5. Каблов Е.Н. Химия в авиационном материаловедении // Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 3–4.
6. Пинчук Л.С., Неверов А.С. Герметизирующие полимерные материалы. М.: Машиностроение, 1995. 159 с.
7. Смылова Р.А., Швец В.М., Саришвили И.Г. Применение отверждающихся герметиков в строительной технике // Обзор информации ВНИИТИЭПСМ. М., 1991. Сер. 6. №2. С. 1–50.
8. Валеев Р.Р., Быльев В.А., Хакимулин Ю.Н., Лиакумович А.Г. Технические свойства герметиков на основе ТПМ-2 полимера // Сб. статей 9-й Всерос. конф. «Структура и динамика молекулярных систем». Яльчик, 2002. С. 84–87.

9. Герасимов Д.М., Елисеев О.А., Смирнов Д.Н. Современные тенденции развития кремнийорганических герметиков и компаундов за рубежом // Сб. тр. конф. «Материалы и технологии герметизации». М.: ВИАМ, 2005. Ст. 12 (CD).
10. История авиационного материаловедения. ВИАМ – 80 лет: годы и люди / под общ. ред. Е.Н. Каблова. М.: ВИАМ, 2012. С. 349–355.
11. 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: 10.18577/2071-9240-2015-0-1-3-33.
12. Елисеев О.А., Краснов Л.Л., Зайцева Е.И., Савенкова А.В. Разработка и модифицирование эластомерных материалов для применения во всеклиматических условиях // Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 309–314.
13. Гладких С.Н., Барашина Е.Н., Троицкая О.Л. Новые полимерные материалы для герметизации электрорадиоизделий бортовой аппаратуры // Сб. тр. конф. «Материалы и технологии герметизации». М.: ВИАМ, 2005. Ст. 11 (CD).
14. Гращенков Д.В., Чурсова Л.В. Стратегия развития композиционных и функциональных материалов // Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 231–242.
15. Низковязкая силоксановая композиция: пат. 2356117 Рос. Федерация. №2007122941/09; заявл. 20.06.07; опубл. 20.05.09, Бюл. №14. 8 с.
16. Куличихин С.Г., Реутов А.С., Мирошникова И.И. и др. Реологические закономерности гелеобразования кремнийорганических олигомеров // Высокомолекулярные соединения. 1992. №5. С. 57–62.
17. Суздальцев Е.И., Миронова Е.В. Поиск альтернативы гидрофобизирующей жидкости 136-41 при ее использовании в клеевом соединении «металл–керамика» // Все материалы. 2013. №7. С. 28–31.
18. Шах В. Справочное руководство по испытаниям и анализу причин их разрушения. СПб.: НАТ, 2009. С. 178–191.