

УДК 621.792

*Л.Л. Краснов¹, З.В. Кирина¹, М.А. Венедиктова¹, Я.А. Брык¹***ОПРОБОВАНИЕ ЛЕНТОЧНОГО ГЕРМЕТИКА
ДЛЯ ГЕРМЕТИЗАЦИИ СЪЕМНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ,
РАБОТОСПОСОБНЫХ ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ ОТ -60 ДО +180°C**

DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-3-53-60

Приведено краткое описание процесса изготовления ленточного герметика. Определены физико-механические свойства ленточного герметика, исследована зависимость способа формирования стыка ленточного герметика при сборке герметизируемых отсеков. Определены относительная и остаточная деформации ленточного герметика. Проведена оценка степени прилегания герметика к сопрягаемым поверхностям в различных сочетаниях материалов: «алюминий–ПКМ» с однорядным и двухрядным болтовыми креплениями, «алюминий–органическое стекло» с двухрядным болтовым соединением.

Ключевые слова: ленточный герметик, кремнийорганический эластомер, гидрофобизирующая жидкость, физико-механические свойства, относительная деформация сжатия, болтовое соединение.

*L.L. Krasnov¹, Z.V. Kirina¹, M.A. Venediktova¹, Ya.A. Bryk¹***APPROBATION OF TAPE SEALANT
FOR SEALING REMOVABLE CONSTRUCTIVE ELEMENTS OPERABLE
AT TEMPERATURES FROM -60 TO +180°C**

The short description of process of manufacturing of tape sealant is provided in article. Physicomechanical properties of tape sealant are defined, have been defined, dependence of way of forming of joint of tape hermetic has been investigated at assembly of pressurized compartments. Relative deformation at compression of hermetic tape, residual relative deformation after compression is established. Degree of fit of the tape sealant to interfaced surfaces in different combinations of materials: «aluminum–PCM» with two-row and single-row bolted, «aluminum–organic glass» with two-row bolted.

Keywords: tape sealant, silicone elastomer, hydrophobic liquid, physicomechanical properties, relative compressive strain, bolted connection.

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

Введение

В ряде случаев для обеспечения герметичности в соединениях деталей машин применяют герметизирующие материалы или герметики. Основные требования, предъявляемые к указанным материалам, – эластичность, высокая прочность и низкая остаточная деформация. В зависимости от типа применяемого полимера герметики подразделяются на вулканизирующиеся (отверждающиеся) и невулканизирующиеся (неотверждающиеся), представляющие собой пасты или мастики [1–14].

При применении герметизирующих материалов для уплотнения длинномерных нерегламентированных зазоров возникают значительные технологические трудности.

Как вулканизирующийся, так и невысыхающие герметики не способны обеспечить равномерность уплотнения, ввиду неравномерности прохождения вулканизационных или реологических процессов в процессе их нанесения на рабочие поверхности значительной протяженности. Применение для этой цели резин приводит к большим технологическим сложностям при изготовлении длинномерных эластомерных заготовок.

Для ликвидации указанных недостатков перспективным представляется применение так называемого ленточного герметика. Он представляет собой предварительно вулканизованный герметик, сформированный в заготовку в виде лены на специальном агрегате. Это позволяет равномерно нанести однородный герметизирующий слой в уплотняемый нерегламентированный зазор и обеспечить достаточную прочность соединения за счет повышенной прочности материала. При этом достигается высокая надежность уплотняемого соединения вследствие стабильности толщины герметизирующего слоя и высокой однородности его химического состава, а также стабильности физических и механических свойств. Кроме того, возможные отклонения в нерегламентируемых зазорах сопрягаемых деталей устраняются путем нанесения тонкого компенсационного слоя (~0,1 мм) герметика на одну из сопрягаемых поверхностей.

На практике наиболее распространенным видом герметизации отсеков на основе пастообразных составов является жесткое болтовое или клепаное соединение (рис. 1). В такой схеме уплотнение представляет собой пакет из двух пластин, соединенных однорядным болтовым или клепаным швом, между которыми нанесен герметик в виде пасты.



Рис. 1. Общий вид герметизации отсеков

В зависимости от температурного интервала работоспособности, для уплотнения можно применять герметики на основе полимеров различного химического строения. Так, фирма Dowdy Seals в качестве герметизирующих прокладок предлагает применять заготовки на основе бутадиен-нитрильного каучука для изделий, работающих в интервале температур от -26 до $+90^{\circ}\text{C}$; на рабочую температуру от -50 до $+200^{\circ}\text{C}$ предлагается герметик на основе фторкремнийорганического каучука [15–18].

Цель данной работы – исследование характеристик ленточного герметика при его применении в составе конструктивно-подобных образцов, в максимальной степени приближенных к конкретным вариантам уплотнительных узлов авиационной техники.

Материалы и методы

С учетом того, что в современных условиях авиационные материалы длительно работают на воздухе при температурах от -60 до $+(180\div 200)^{\circ}\text{C}$, перспективным ленточным герметиком для применения является материал на основе низкомолекулярного силоксанового каучука.

Исследуемый в данной работе ленточный герметик является новым технологичным материалом и представляет собой однослойный вулканизованный резиноподобный материал, сформированный в виде полотна размером 300×2000 мм, толщиной от 0,4 до 3,5 мм. Общий вид ленточного герметика приведен на рис. 2.



Рис. 2. Общий вид ленточного герметика

Изготовление полотна ленточного герметика производили путем протяжки пастообразной композиции на основе кремнийорганического эластомера типа СКТН между двумя цилиндрическими валками, изолированными между собой пленочными прокладками. Толщина ленточного герметика обеспечивалась заданным калиброванным зазором.

Определение эксплуатационных свойств ленточного герметика на основе низкомолекулярного силоксанового каучука проводили на конструктивно-подобных образцах в соответствии с принятой технологической последовательностью операций, в ходе которых определяли деформационные характеристики, качество прилегания к сопрягаемым поверхностям, а также исследовали способы образования стыков элементов лент и физико-механические свойства полимерного материала.

Образцы для испытаний изготавливали на одном составе по единому отработанному технологическому процессу, включающему следующие операции:

- подготовка установки к работе;
- изготовление навески пасты;
- формование ленточного полотна;
- довулканизация отформованного ленточного полотна на стеллажах в комнатных условиях без дополнительного нагрева;
- изготовление конструктивно-подобных образцов для испытаний.

Результаты

Изучение возможности применения ленточного герметика для герметизации съемных конструктивно-подобных образцов

Исследуемые в данной работе системы планируется применять для герметизации воздушных отсеков изделий авиационной техники. В конструкцию герметизируемых отсеков необходимо закладывать зазор, величина которого рассчитывается исходя из толщины применяемого ленточного герметика и деформации при сжатии 30–60%.

Для проведения экспериментальной работы использовали четыре типа конструктивно-подобных образцов, имитирующих сопрягаемые поверхности отсеков:

- пакет из двух пластин – металл (алюминий, покрытый грунтовкой)+ПКМ+ ленточный герметик с двухрядным болтовым соединением;
- пакет из двух пластин – металл (алюминий, покрытый грунтовкой)+органическое стекло+ленточный герметик с двухрядным болтовым соединением;
- пакет из двух пластин – металл (алюминий, покрытый грунтовкой)+ПКМ+ ленточный герметик с однорядным болтовым соединением;
- пакет из двух пластин – металл+металл (алюминий, покрытый грунтовкой)+пастообразный герметик, алюминиевые пластины соединены однорядным болтовым соединением.

Указанные варианты конструктивно-подобных образцов выбраны как с учетом моделирования типовых длиномерных уплотнительных соединений, так и с учетом максимальной реализации эксплуатационных характеристик силиконовых эластомеров. Последний пакет приведен для сравнения – в качестве наиболее распространенного варианта герметизации соединений.

Перед сборкой ленточный герметик нарезают на заготовки требуемой ширины и длины. Нарезанные заготовки укладывают на одну из формируемых сопрягаемых поверхностей путем приклейки на шпательный герметик, предварительно нанесенный на рабочую поверхность заготовки толщиной ~0,1 мм. Перед установкой ленточного герметика в сопрягаемые поверхности пакета, состоящего из двух пластин, проводят замер толщины ленточного герметика по длине и определяют ее среднее значение.

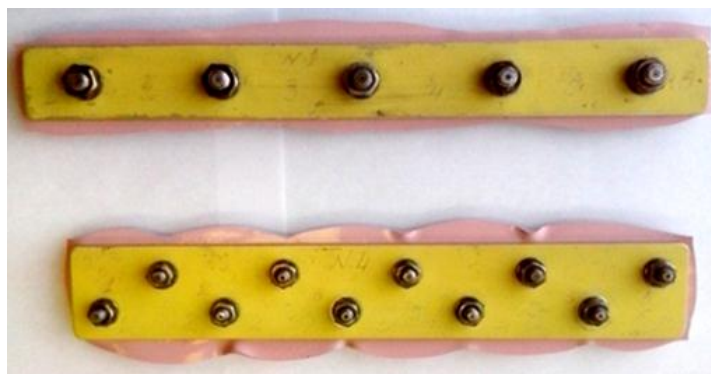


Рис. 3. Образцы ленточного герметика с однорядным и двухрядным болтовым соединением

На образце из ленточного герметика через отверстия в пластине размечали и пробивали отверстия нужного диаметра под крепежные элементы. Далее производили сборку пакета вручную с помощью кольцевого ключа. Внешний вид конструктивно-подобных элементов представлен на рис. 3 и 4.



Рис. 4. Вид образцов ленточного герметика с органическим стеклом

В процессе исследования на всех типах образцов определены:

- степень прилегания ленточного герметика к герметизируемой поверхности при заданной степени сжатия;
- исходная толщина ленточного герметика;
- общая толщина пакета;
- толщина пакета с лентой в напряженном (сжатом) состоянии;
- толщина ленточного герметика после снятия нагрузки;
- расчетная относительная деформация ленточного герметика в процессе сжатия;
- расчетная остаточная деформация в ленточном герметике после снятия нагрузки.

Первый замер толщины пакета был выполнен в шести точках. Через промежуток времени от 6 до 24 ч проведена подтяжка болтов и повторный замер толщины пакета с ленточным герметиком. В процессе выполнения работы после подтяжки болтовых соединений произведено пять замеров толщин первого варианта каждого пакета и четыре замера толщин второго, третьего и четвертого вариантов каждого пакета с ленточным герметиком.

По окончании измерений пакеты разбирали и замеряли толщину герметика после испытаний в шести точках с определением среднего значения. Далее проведен расчет относительной деформации сжатия ленточного герметика в каждом пакете.

Расчет значений относительной деформации сжатия лент из герметика вычисляли по формуле

$$E_{сж}=[(\delta_0-\delta_1)/\delta_1]\cdot 100\%, \quad (1)$$

где δ_0 – исходная толщина герметика (среднее значение по шести точкам), мм; δ_1 – толщина герметика под давлением, мм.

Расчет значений относительной остаточной деформации сжатия лент из герметика вычисляли по формуле

$$E_{ост}=[(\delta_0-\delta_2)/\delta_0]\cdot 100\%, \quad (2)$$

где δ_0 – исходная толщина герметика, мм; δ_2 – толщина герметика после сжатия, мм.

Прилегание герметика к сопрягаемой поверхности на образцах с органическим стеклом определяли визуально.

Результаты испытаний образцов ленточного герметика показали одинаковый характер деформации при сжатии. Результаты испытаний конструктивно-подобных образцов с применением экспериментальной партии ленточного герметика приведены в табл. 1 (расчет значений параметров $E_{сж}$ и $E_{ост}$ выполнен по формулам (1) и (2)).

Таблица 1

Результаты испытаний конструктивно-подобных образцов с применением экспериментальной партии ленточного герметика

Тип пакета	Общая толщина пакета, мм	Исходная толщина герметика, мм	Толщина пакета под давлением, мм	Толщина герметика под давлением, мм	Толщина герметика после сжатия, мм	$E_{ост}$	$E_{сж}$
						%	
Двухрядный (металл+ПКМ+ленточный герметик)	14,41	1,38	13,62	0,88	1,36	1,47	56,8
Двухрядный (металл+оргстекло+ленточный герметик)	14,55	1,40	13,80	0,90	1,38	1,45	55,5
Однорядный (металл+ПКМ+ленточный герметик)	14,41	1,38	13,76	0,93	1,37	0,73	48,4
Однорядный (металл+металл+пастообразный герметик)	12,50	1,35	11,70	0,84	–	–	60,7

Проведенные испытания четырех типов конструктивно-подобных образцов на определение деформации сжатия и прилегания к сопрягаемым поверхностям показали следующие результаты:

- все образцы имели полное прилегание к сопрягаемым поверхностям при свинчивании пакетов болтовыми соединениями с усилием в момент затяжки – от 400 до 550 Н·см;
- образцы из всех партий ленточного герметика обладали эластичностью, не трескались и показали значения относительной деформации сжатия – от 48,4 до 60,7%;

- наибольшую относительную деформацию сжатия 60,7% показали образцы пастообразного герметика в пакете «металл+металл+пастообразный герметик» с однорядным болтовым соединением;
- наименьшую относительную деформацию сжатия 48,4% показали образцы ленточного герметика в пакете «металл+ПКМ+ленточный герметик» с однорядным болтовым соединением;
- относительная остаточная деформация сжатия составила – от 0,73 до 1,47%;
- композиции образцов всех четырех типов имели удовлетворительные показатели внешнего вида – на поверхности отсутствуют наплывы, раковины, посторонние включения, структура поперечных и продольных срезов лент монолитна;
- установлено, что ленточный герметик обладает высокой эластичностью, при сжатии до 60,7% с усилием в момент затяжки 400–550 Н·см материал после сжатия и деформации не имеет механических повреждений и трещин в зонах контакта и вокруг отверстий, т. е. контакт сопрягаемых поверхностей не имеет механических повреждений и трещин;
- все испытанные образцы композиций ленточного герметика при сжатии в пакетах пластин в течение от 2 до 5 сут после демонтажа не имели механических повреждений и трещин в зонах отверстий (рис. 5);
- в образцах с применением пастообразного герметика толщина не регламентируется и может изменяться в широком диапазоне, что затрудняет оценку.



Рис. 5. Вид образцов ленточного герметика после демонтажа

Изучение влияния способа укладки ленточного герметика на его прочностные характеристики

В технологическом процессе при герметизации сопрягаемых поверхностей конструктивных элементов отсеков особое внимание уделялось приклейке и формированию стыков лент. При укладке герметизирующих лент на сопрягаемые поверхности в зависимости от формы, габаритов, конструктивной сложности отсеков возникает необходимость выполнить стыки заготовок ленточного герметика путем последовательного соединения различных по длине отрезков лент. Работоспособность и эффективность такого стыка зависит от качества сборки и выполнения стыков. Конструктивные стыки из ленточного герметика возможно выполнить несколькими способами. Для экспериментального опробования выбраны варианты стандартных стыков ленточного герметика, схемы которых представлены на рис. 6.

Технологический процесс формирования стыка лент состоит из следующих операций:

- обрезка стыковых концов лент в зависимости от выбранного способа;
- обезжиривание мест склеивания концов;
- укладка заготовок ленты на поверхности приспособления, имитирующего герметизирующий разъем;
- приготовление навески шпательного герметика и его нанесение на стыкуемые поверхности;
- соединение стыковых концов лент и установка ответной детали приспособления через разделительный слой, довулканизация;

- разборка приспособления и обрезка технологического облоя;
- измерение толщины стыка образцов и проведение испытаний.

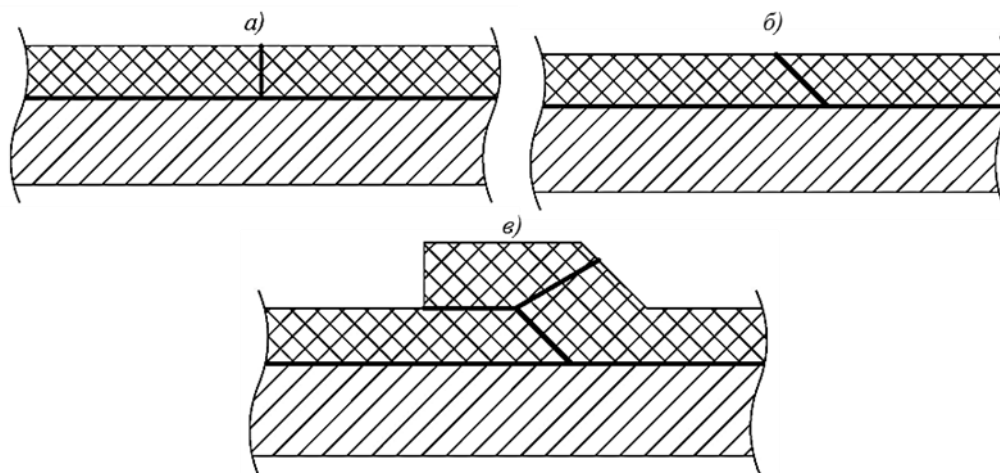


Рис. 6. Схема конструктивных стыков ленточного герметика: встык (а), с наклонным срезом (б) и внахлест (в)

Результаты испытания образцов с вариантами устройства стыков ленточного герметика приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты испытаний образцов с различными вариантами устройства стыков ленточного герметика

Условный номер образца	Внахлест			С наклонным срезом			Встык		
	δ , МПа	ϵ , %	Характер разрушения	δ , МПа	ϵ , %	Характер разрушения	δ , МПа	ϵ , %	Характер разрушения
1	3,7	205	По герметику	3,3	205	По герметику	3,1	207	По герметику
2	3,0	209	По герметику	3,5	237	По герметику	3,4	209	По герметику
3	3,2	215	По герметику	3,5	221	По герметику	3,0	205	По стыку
4	3,5	210	По герметику	3,6	216	По герметику	3,6	210	По герметику
5	3,4	217	По герметику	3,4	224	По герметику	3,3	204	По стыку
Средние значения	3,4	211	–	3,5	221	–	3,3	207	–

Анализ результатов испытаний показал, что предел прочности материала в местах стыков полностью соответствует показателям исходного материала. Испытания показали, что соединения внахлест и с наклонным срезом имеют 100%-ное разрушение не по стыку, а по ленточному герметику.

Обсуждение и заключения

Изготовлены четыре типа конструктивно-подобных образцов, имитирующих сопригаемые поверхности отсеков, с применением экспериментальной партии ленточного герметика на основе низкомолекулярного силоксанового каучука.

Отработана технология установки ленточного герметика в длиномерные конструктивно-подробные образцы различных типов. Определены относительная деформация герметика при сжатии ленты и относительная остаточная деформация после сжатия.

Установлено, что ленточный герметик обладает высокой эластичностью, вследствие чего не имеет механических повреждений и трещин даже в зонах с повышенными

механическими нагрузками (вокруг отверстий стяжных болтов, неровностей в зазорах и т. д.), т. е. на участках сопрягаемых поверхностей с повышенной нагрузкой при сжатии. Установлено, что в выбранных вариантах степень прилегания по сопрягаемым поверхностям составляет 100%.

Исследовано влияние вариантов стыков конструктивно-подобных образцов с применением ленточного герметика на прочность соединения и установлено, что оптимальные стыковые соединения – это варианты внахлест и с наклонным срезом.

Таким образом, примененные варианты герметизации исследованных конструктивно-подобных образцов показали высокую эффективность уплотнения. Полученные в работе результаты испытаний могут быть использованы при изготовлении уплотнений для длинномерных воздушных отсеков в деталях и узлах авиационной техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Ключевая проблема – материалы // Тенденции и ориентиры инновационного развития России. М.: ВИАМ, 2015. С. 458–464.
2. Каблов Е.Н. Химия в авиационном материаловедении // Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 3–4.
3. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения – основа инноваций, технологического лидерства и национальной безопасности России // Интеллект и технологии. 2016. №2 (14). С. 16–21.
4. Швецов Г.В., Акимова Д.У., Барышникова М.Д. Технология переработки пластических масс. М.: Химия, 1988. 512 с.
5. Мак-Келви Д.М. Переработка полимеров. Пер. с англ. М.: Химия, 1965. 444 с.
6. Кошелев Ф.Ф., Корнев А.Е., Буканов А.М. Общая технология резин. М.: Химия, 1978. С. 321–327.
7. Крыжановский В.К., Кербер М.Л. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, материалы. СПб.: Профессия, 2008. 560 с.
8. Крыжановский В.К., Кербер М.Л., Бурлов В.В., Панаматченко А.Д. Производство изделий из полимерных материалов. СПб.: Профессия, 2004. 464 с.
9. Савенкова А.В., Чурсова Л.В., Елисеев О.А., Глазов П.А. Герметики авиационного назначения // Авиационные материалы и технологии. 2012. №3. С. 40–43.
10. Елисеев О.А., Наумов И.С., Смирнов Д.Н., Брык Я.А. Резины, герметики и огне-теплозащитные материалы // Авиационные материалы и технологии. 2017. №S. С. 437–451. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-437-451.
11. Савенкова А.В., Чурсова Л.В., Елисеев О.А. и др. Восстановление технологии изготовления тепломорозостойких герметиков на основе кремнийорганических каучуков, синтезированных по новым промышленным технологиям // Авиационные материалы и технологии. 2012. №4. С. 25–31.
12. Барановская Н.Б. Проблема герметизации и герметизирующие материалы // Герметизация самолетных конструкций. М.: ВИАМ, 1959. С. 5–11.
13. Венедиктова М.А., Наумов И.С., Чайкун А.М., Елисеев О.А. Современные тенденции в области фторсилоксановых и силоксановых каучуков и резин на их основе (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2014. №S3. С. 17–24. DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-s3-17-24.
14. Елисеев О.А., Брык Я.А., Смирнов Д.Н. Модификация полисульфидных герметиков ингибиторами коррозии // Авиационные материалы и технологии. 2016. №S2. С. 15–21. DOI: 10.18577/2071-9140-2016-0-S2-15-21.
15. Большой справочник резинщика. М.: Техинформ, 2012. Ч. 2 С. 179–180.
16. 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 технологи. 2015. №1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
17. Конструктивные особенности герметических кабин // Студопедия [Электронный ресурс]. URL: <http://www.studopedia.ru> (дата обращения: 18.07.2018).
18. Edward M. Petrie Handbook of Adhesives and Seals. New York: McGraw-Hill. 2000. P. 14–23.