

*О.А. ЕЛИСЕЕВ, Л.Л. КРАСНОВ,  
Е.И. ЗАЙЦЕВА, А.В. САВЕНКОВА*

## **РАЗРАБОТКА И МОДИФИЦИРОВАНИЕ ЭЛАСТОМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ ВО ВСЕКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

В различных климатических зонах, особенно в условиях теплого влажного климата, материалы, используемые в конструкциях авиационной техники (АТ), и топливо подвергаются микробиологическому воздействию. Наиболее часто встречается поражение материалов плесневыми грибами, которые широко распространены и представлены многочисленными видами. Поражение плесневыми грибами неметаллических материалов в составе изделий приводит к снижению надежности и сроков эксплуатации АТ. В связи с этим необходимо разработать способы дезинфекции и защиты от микробиологического поражения неметаллических материалов, предназначенных для эксплуатации в атмосферных условиях различных климатических зон.

Грибостойкость зависит от структуры поверхности и от химического состава материала. Герметики имеют не только поверхность, удобную для закрепления и развития на ней микроорганизмов, но и химический состав, который позволяет им (герметикам) быть источником питания.

Наиболее эффективным способом защиты герметиков от воздействия микроорганизмов является введение в их рецептуру специальных антисептических добавок. Исходя из сложных условий эксплуатации большинства герметиков, данные антисептические добавки должны отвечать ряду требований:

- подавлять развитие микроорганизмов в малых концентрациях;
- не снижать физико-механические, химические и эксплуатационные свойства материала;
- сохранять свои защитные свойства после длительного воздействия различных климатических факторов (колебаний температуры, влажности и др.);
- не повышать коррозионную активность герметика при контакте с другими материалами.

По проведенным ранее исследованиям различных классов материалов (огне-, теплозащитных материалов, в том числе на кремнийорганической основе) была выбрана антисептическая добавка, выпускаемая в промышленности и обладающая наибольшим биозащитным эффектом. Представлялось целесообразным исследовать влияние содержания антисептической добавки на технологические, физико-механические и биозащитные свойства опытных композиций фторсилоксанового герметика ВГФ-2, наиболее применяемого в авиационной технике, путем частичной замены в герметизирующей пасте диоксида титана на антисептическую добавку.

На первом этапе исследовали грибостойкость герметика ВГФ-2 в исходном состоянии и с добавлением антисептической добавки.

Оценку грибостойкости проводили по 5-балльной шкале в соответствии с ГОСТ 9.048 (балл: 0–5). Испытания проводили в течение 3 мес при температуре  $28 \pm 2^\circ\text{C}$  и относительной влажности 98%. Сравнение результатов показало:

- образцы герметика в исходном состоянии не удовлетворяют требованиям по грибостойкости (балл: 1–2);

– грибостойкость образцов с антисептической добавкой составила 0 баллов.

Влияние антисептической добавки на физико-механические свойства и эксплуатационные характеристики герметика ВГФ-2 приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

**Влияние антисептической добавки на физико-механические и технологические характеристики герметика ВГФ-2**

Состав композиции	Жизнеспособность, ч	Твердость по Шору А	Грибостойкость, балл	Условная прочность при разрыве $\sigma$ , МПа	Относительное удлинение при разрыве $\epsilon$ , %
Без антисептической добавки	5	58	2	2,75	130
С антисептической добавкой	5	54	0	2,63	140

Из данных табл. 1 и 2 видно, что введение в рецептуру герметика ВГФ-2 антисептической добавки не вызвало значительного изменения физико-механических и технологических характеристик.

Для оценки сохранения защитных свойств материала в процессе эксплуатации в присутствии антисептической добавки было проведено термостарение образцов герметика в соответствии с их рабочими температурами. Исследованы физико-механические свойства и грибостойкость фторсилоксанового герметика ВГФ-2 в исходном состоянии и с антисептической добавкой после выдержки при температуре 100°C в течение 600 ч, а также при 250°C в течение 300 ч (см. табл. 2).

Таблица 2

**Оценка прочностных свойств герметика ВГФ-2 после термостарения при введении в его состав антисептической добавки**

Состав композиции	Значения свойств после старения по режиму				Грибостойкость, балл
	100°C, 600 ч		250°C, 300 ч		
	$\sigma$ , МПа	$\epsilon$ , %	$\sigma$ , МПа	$\epsilon$ , %	
Без антисептической добавки	2,95	90	2,41	80	2
С антисептической добавкой	2,87	85	2,22	75	0

Образцы герметика ВГФ-2 как с антисептической добавкой, так и без нее после выдержки при температуре 250°C в течение 300 ч стали хрупкими.

Из приведенных в табл. 2 данных видно, что исследуемые показатели образцов герметика ВГФ-2 в исходном состоянии и образцов с анти-

септической добавкой после термостарения отличаются незначительно: условная прочность при разрыве в обоих случаях незначительно увеличилась, тогда как относительное удлинение в обоих случаях несколько снизилось.

Также было исследовано влияние антисептической добавки на коррозионную активность фторсилоксанового герметика ВГФ-2. Установлено, что герметик, содержащий антисептическую добавку, может применяться в контакте с алюминиевыми сплавами с анодно-оксидными покрытиями, нержавеющей стали, конструкционными сталями с защитными покрытиями, включая лакокрасочные.

Исследовалось влияние антисептической добавки на свойства фторсилоксанового герметика ВГФ-2 после выдержки в среде топлива ТС-1 и масла ИПМ-10 при температуре 100°С в течение 600 ч (табл. 3).

Таблица 3

**Физико-механические и эксплуатационные свойства герметика ВГФ-2 с антисептической добавкой после выдержки в течение 600 ч в среде топлива и масла**

Состав композиции	Среда	Условная прочность при разрыве, МПа	Относительное удлинение, %	Твердость по Шору А
Без антисептической добавки	Исходное состояние (без выдержки)	2,75	130	60
	Топливо ТС-1	1,71–2,01	100–120	45–52
	Масло ИПМ-10	2,91–2,95	110–120	65–68
С антисептической добавкой	Исходное состояние (без выдержки)	2,63	140	56
	Топливо ТС-1	1,56–1,86	90–120	43–48
	Масло ИПМ-10	2,52–2,28	80–90	51–53

Из данных табл. 3 видно, что у герметика ВГФ-2 без антисептической добавки после выдержки в течение 600 ч в различных средах незначительно снижаются:

- в топливе ТС-1 – условная прочность при разрыве, относительное удлинение и твердость по Шору А;
- в масле ИПМ-10 – относительное удлинение, но незначительно увеличиваются условная прочность при разрыве и твердость по Шору А.

Однако с антисептической добавкой после той же выдержки в различных средах условная прочность при разрыве, относительное удлинение, твердость по Шору А снижаются в топливе ТС-1 и незначительно снижаются в масле ИПМ-10.

Исследованы образцы герметика ВГФ-2 с антисептической добавкой на грибостойкость после определения коррозионной активности и после теплового ресурса в течение 1 мес испытаний. Установлено, что после данных испытаний герметик ВГФ-2 с антисептиком является грибостойким – балл 0 (по ГОСТ 9.048).

Таким образом, применение антисептической добавки в качестве модификатора и антисептика в рецептуре герметика ВГФ-2 улучшает грибо-

стойкость и практически не влияет на технологические и физико-механические свойства.

Проведено освидетельствование образцов, выставленных на экспозицию в условиях теплого влажного климата ГНИП РАН (г. Сочи). Установлено, что образцы грибостойкого герметика ВГФ-2-М после 6 мес экспозиции не обрастают микроорганизмами (балл 0).

По результатам проведенных комплексных исследований был разработан фторсилоксановый грибостойкий герметик марки ВГФ-2-М.

Для ряда конструктивных элементов авиационной, машиностроительной, судостроительной, приборостроительной и другой техники ставится задача по обеспечению непроницаемости соединений не только отдельных узлов, но и всей конструкции, работающей в различных средах и при разных температурах. В таких узлах важную роль выполняют герметизирующие материалы, которые обеспечивают эксплуатационные требования.

В качестве герметизирующих элементов могут применяться прокладки из различных материалов: отверждающихся герметизирующих композиций, отверждающихся и неотверждающихся замазок и т.д.

Так, в отечественной и зарубежной технике [1–3] широкое применение получили герметики на основе тиоколов. В настоящее время в отечественной промышленности разработано и применяется более 20 марок герметиков. С их помощью успешно обеспечивается герметизация таких сложных узлов, как емкости баков для топлива, масла, гидрожидкости и отсеков, в которых требуется герметичность. Особенно актуальным решением для таких задач в авиационной, судостроительной и другой технике явился отказ от изготовления отдельных емкостей для топлива, а заливка его непосредственно в отсек конструкции. Такое конструктивное решение позволяет увеличить емкость топливных отсеков, тем самым обеспечить снижение массы конструкции, увеличение дальности полета (по сравнению с применением мягких или сварных баков). Благодаря значительному ассортименту герметиков и технологических процессов их нанесения обеспечивается требуемая герметизация отсеков и их надежная работа в процессе эксплуатации.

В ряде конструктивных решений по сопрягаемым поверхностям герметизирующих узлов могут возникать нерегламентированные зазоры, которые, в зависимости от конструктивных решений, могут составлять – от 0,5 до 4,5 мм.

Как показала практика, обеспечить герметизацию таких узлов жидкими герметиками не всегда технологически возможно. В герметизирующем слое под воздействием нагрузки сохраняется напряженное состояние, несмотря на большие значения относительного удлинения и условной прочности герметиков.

Для обеспечения герметичности конструкций с нерегламентированными зазорами в сопрягаемых поверхностях необходимы иные материалы и способы герметизации узлов на их основе – например ленточный герметик. Задача создания ленточного герметика оказалась непростой – это результат обобщенного опыта по применению и эксплуатации герметизирующих материалов и технологий их изготовления и применения. Проводились исследования по выбору исходных компонентов и разработке состава ленточного герметика, а также технологического процесса его получения.

Установлено, что технологические характеристики (условия совмещения, скорость и продолжительность перемешивания компонентов, жизнеспособность, текучесть и т.д.), а также физико-механические свойства ленточного герметика зависят от выбора рецептуры. Анализ результатов исследований по выбору рецептуры ленточного герметика показал, что отработанная рецептура позволила получить комплекс необходимых свойств.

Эксплуатационные свойства оценивались на конструктивных элементах, имитирующих каркас крыла самолета, с однорядовыми и двухрядовыми болтовыми соединениями. Оценка эффективности ленточного герметика проводилась по величине поверхностного прилегания сопрягаемых поверхностей нерегламентированных зазоров, целостности образцов ленточного герметика после сборки и испытания узла, величине деформации при сборке узла и остаточной деформации после выдержки конструктивного элемента в условиях цеха и при температуре до 100°C в течение 3 сут.

Для дальнейших исследований был разработан способ изготовления ленточного герметика, отработана технология изготовления герметизирующего состава, которому присвоена марка ВГМ-Л.

Исследованы физико-механические, теплофизические и эксплуатационные свойства ленточного герметика ВГМ-Л: плотность герметизирующего материала составляет  $1,42 \pm 0,08$  г/см<sup>3</sup>, твердость по Шору А – не менее 35 усл. ед.

Физико-механические свойства при температуре 20°C после выдержки в топливе ТС-1 и на воздухе приведены в табл. 4.

Прочность связи при расслаивании (адгезия) от стали 30ХГСА составила 4,7–7,2 кН/м, от композиционного углепластика: 3,6–5,25 кН/м. Грибостойкость ленточного герметика составила 1 балл.

Таблица 4

**Физико-механические свойства ленточного герметика ВГМ-Л  
после выдержки в топливе ТС-1**

Режим выдержки		Условная прочность в момент разрыва, МПа	Удлинение, %	
Температура, °С	Продолжительность, ч		относительное	остаточное
В исходном состоянии (без выдержки)		3,89	204	5
В топливе ТС-1				
70	800	4,35	183	5
	1000	4,31	169	4
100	600	3,4	128	2
	1000	3,58	90	4
На воздухе				
70	2000	5,44	136	4
100	1600	4,84	75	2
120	500	4,70	78	6

Таблица 5

Изменение массы\* ленточного герметика ВГМ-Л в топливе ТС-1, маслах ВНИИ-НП-50-1-4 и МС-8 после длительной выдержки

Среда	Изменение массы, %, после выдержки в течение, сут						
	1	3	5	10	15	20	30
Топливо ТС-1	0,41 +(0,3-0,5)	0,60 +(0,3-0,6)	0,72 +(0,5-0,8)	0,76 +(0,6-0,9)	0,81 +(0,6-0,9)	0,77 +(0,5-0,9)	0,80 +(0,6-0,9)
Масло ВНИИ- НП-50-1-4	0,11 +(0,06-0,2)	0,05 +(0,09-0,1)	0,03 +(0,02-0,1)	0,27 +(0,06-0,5)	0,33 +(0,1-0,6)	0,36 +(0,2-0,5)	0,28 +(0,2-0,6)
Масло МС-8	0,31 +(0,2-0,3)	0,42 +(0,3-0,5)	0,58 +(0,4-0,7)	0,73 -(0,5-0,9)	0,86 -(0,7-1,0)	0,97 -(0,7-1,0)	1,08 -(0,8-1,1)

\* В скобках даны привес (+) или потеря массы (-).

Изменение массы ленточного герметика при воздействии топлива ТС-1, масел МС-8 и ВНИИ-НП-50-1-4 приведены в табл. 5.

Исследование коррозионной агрессивности ленточного герметика ВГМ-Л показало, что при его контакте не возникает коррозии со сплавами: Д16-Т неплакированным (неанодированным и анодированным); Д16-АТ плакированным и с анодно-оксидным покрытием (Ан.Окс.нхр) при температуре испытания 60 и 100°C. Не усиливается коррозия при контакте материала ВГМ-Л со сталями: нержавеющей 12Х18Н10Т, конструктивной 30ХГСА без защитного покрытия и с таким покрытием, а также с титановым сплавом ОТ4-1. Материал ВГМ-Л не вызвал коррозии при контакте со сплавами В95п.ч.-Т2, ВТ-23, Д19ч.-Т, а также не вызвал химического воздействия, приводящего к разрушению ЛКП и панелей из ПКМ.

Анализ результатов исследований физических, механических и эксплуатационных свойств показал, что ленточный герметик ВГМ-Л может применяться для внутришовной герметизации крупногабаритных топливных масляных баков и отсеков фюзеляжа, работающих при температуре от -60 до +130°C.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Халимулин Ю.Н., Минкин В.С., Панютин Ф.М. Герметики на основе полисульфидных олигомеров. М.: Наука. 2007. 80 с.
2. Аверк-Антонович Л.М., Кирпичников П.А., Смыслова Р.А. Полисульфидные олигомеры и герметики на их основе. Л.: Химия. 1983. 67 с.
3. Синтез, структура и свойства полисульфидных олигомеров: Межвузовский сб. Волгоград. 2006. 370 с.