

УДК 678.4

О.А. Елисеев¹, И.С. Наумов¹, Д.Н. Смирнов¹, Я.А. Брык¹

РЕЗИНЫ, ГЕРМЕТИКИ И ОГНЕ-ТЕПЛОЗАЩИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-437-451

Представлены практические результаты в области разработки новых эластомерных материалов специального назначения различной химической природы: термо-морозостойких кремнийорганических резин пониженной горючести марок ВР-38М и ВР-42, топливостойкого полисульфидного герметика с улучшенной морозостойкостью марки ВИТЭФ-1Бм, огне-теплозащитного материала марки ТЗР-5МП с повышенными противопожарными характеристиками на основе хлорсульфированного полиэтилена. Приведены результаты физико-механических испытаний разработанных материалов, в том числе после воздействия различных климатических факторов. Представлены результаты исследования технологических свойств полисульфидного герметика ВИТЭФ-1Бм, горючести и морозостойкости резин ВР-38М и ВР-42, а также расширенного комплекса свойств огне-теплозащитного материала ТЗР-5МП: прогораемости, термогравиметрических и теплофизических характеристик, водо- и влагопоглощения, упруго-прочностных свойств после ускоренных климатических испытаний, термоциклирования и воздействия солевого тумана.

Ключевые слова: резина, антипирен, гидроксид магния, горючесть, полисульфидный герметик, морозостойкость, огне-теплозащитный материал, пожарная безопасность.

O.A. Eliseev, I.S. Naumov, D.N. Smirnov, Ya.A. Bryk

Rubbers, sealants, fireproof and heat-shielding materials

In article practical results in the field of development of new elastomeric materials of different chemical nature for special purpose are provided: thermo-cold-resistant organic silicon rubbers of the lowered combustibility of VR-38M and VR-42 brands, fuel-resistant polysulfide sealant with the improved frost resistance of VITEF-1Bm brand, fire- and heat-protective material of TZR-5MP brand with higher fire-prevention characteristics on the basis of chlorine-sulphonated polyethylene. Results of physical-mechanical tests of the developed materials, including exposed to different climatic conditions are given. Results of research of technological properties of polysulfide sealant VITEF-1Bm, combustibility and

¹ 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

frost resistance of VR-38M and VR-42 rubbers are provided as well as extended complex of properties of fire- and heat-protective material TZR-5MP: burnout test, thermogravimetric and thermal-physical characteristics, water and moisture absorptions, elastic and strength properties after the accelerated climatic tests, thermocycling and effect of salt spray.

Keywords: *organic silicon rubber, flame retardant, magnesium hydroxide, combustibility, polysulphide sealant, frost resistance, fire-heat-protective material, fire safety.*

Работы выполнены в рамках комплексных научных направлений 15.2. «Наноструктурированные, аморфные материалы и покрытия» и 17.5. «Комплексная антикоррозионная защита, упрочняющие, износостойкие защитные и теплозащитные покрытия» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [1].

Резины уплотнительного назначения с пониженной горючестью

В настоящее время большинство серийно выпускаемых резин являются горючими материалами, за исключением ряда резин на основе галогенсодержащих каучуков. Однако такие резины обладают сравнительно невысокой морозостойкостью – от -20 до -40°C .

Разработка резин уплотнительного назначения, не поддерживающих остаточное горение или тление после воздействия на них открытого пламени, представляется актуальной из-за ужесточения требований пожарной безопасности, предъявляемых к элементам конструкции воздушного судна. В соответствии с Авиационными правилами АП-25 (Приложение F, Часть I) все конструкционные и декоративно-отделочные материалы должны обладать пониженной горючестью – не поддерживать самостоятельного горения и тления. При этом все резины авиационного назначения, используемые для изготовления уплотнительных деталей, наряду с пожарной безопасностью должны также сохранять на высоком уровне основные эксплуатационные характеристики, такие как упруго-прочностные свойства, атмосферо-, озono-, термо- и морозостойкость.

Резины, предназначенные для эксплуатации в узлах конструкций изделий авиационной техники, должны обеспечивать работоспособность в расширенном температурном интервале – от $-(65-70)$ до $+(300-350)^{\circ}\text{C}$. Однако не для всех узлов конструкции необходим столь широкий температурный интервал эксплуатации.

Как правило, чем шире температурный диапазон эксплуатации резины, тем выше стоимость изделий из нее, так как полимерной основой таких резин являются каучуки специального назначения, синтез которых требует использования дорогостоящего сырья и высоких трудозатрат на

переработку – например, высокомолекулярных кремнийорганических блок-сополимеров лестничного строения. Поэтому наиболее рациональным решением является использование в узлах, не эксплуатирующихся в максимально широком температурном диапазоне, менее термоморозостойких, но при этом более дешевых и технологичных резин.

Цель данных исследований – разработка атмосферостойких резин пониженной горючести, предназначенных для эксплуатации на воздухе, в том числе в условиях арктического климата, а также в узлах конструкций различных машин в качестве уплотнительных материалов [2–5].

Во ФГУП «ВИАМ» в период с 2012 по 2016 г. разработаны две марки термо-морозостойких кремнийорганических резин, обладающих пониженной горючестью:

– самозатухающая уплотнительная резина марки ВР-38М на основе высокомолекулярного кремнийорганического блок-сополимера лестничного строения марки «Термосил-УП», работоспособная в интервале температур от -70 до +350°С на воздухе;

– резина пониженной горючести марки ВР-42 на основе метилвинилсилоксанового каучука, работоспособная в интервале температур от -55 до +200°С на воздухе.

Свойства резины ВР-38М представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

**Упруго-прочностные свойства резины марки ВР-38М
в исходном состоянии и после ускоренного теплового старения**

Режим ускоренного теплового старения	Условная прочность при растяжении, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Твердость по Шору А, усл. ед.
В исходном состоянии	5,8	220	58
На воздухе при 300°С в течение, ч:			
168	5,6	160	60
336	5,0	90	71
На воздухе при 350°С в течение, ч:			
24	5,8	110	64
48	5,0	60	82
72	4,6	30	93

Таблица 2

Основные эксплуатационные характеристики резины ВР-38М

Коэффициент морозостойкости по эластическому восстановлению (K_v) при температуре, °С			Относительная остаточная деформация сжатия (ОДС) в среде воздуха, %, после выдержки 24 ч при температуре, °С			Сопротивление раздиру, кН/м
-60	-65	-70	200	250	300	
0,64	0,61	0,40	32	58	86	17,8

Резина ВР-38М является самозатухающей без добавления антипиренов и не имеет известных аналогов среди резин по термостойкости, что позволяет рекомендовать ее для использования в уплотнительных

соединениях, подвергающихся в процессе эксплуатации экстремальным термическим нагрузкам – например, в ответственных узлах изделий ракетно-космической техники [6–8].

Резина ВР-42 (в сравнении с резиной ВР-38М) обладает более высокой технологичностью в переработке при существенно более низкой стоимости.

Резина пониженной горючести марки ВР-42, полученная с использованием экологически безопасного антипирена – тонкодисперсного гидроксид магния, может быть изготовлена в различном цветовом исполнении, не содержит в своем составе уникальных или дорогостоящих компонентов и при этом обладает высокой технологичностью при переработке и обеспечивает высокие атмосферо- и водостойкость при сохранении работоспособности в интервале температур от -55 до +200°С на воздухе [9–11].

Основные свойства резины ВР-42 представлены в табл. 3 и 4.

Таблица 3

**Горючесть и физико-механические свойства резины ВР-42
в различном цветовом исполнении**

Цветовое исполнение резины ВР-42	Продолжительность остаточного горения и (или) тления, с	Классификация образца по горючести*	Условная прочность при растяжении, МПа	Относительное удлинение, %		Сопротивление раздиру, кН/м	Твердость по Шору А, усл. ед
				при разрыве	после разрыва (остаточное)		
Без пигментов – белая	11	Самозатухающий	6,9	310	5	20	69
С добавлением технического углерода – черная	0	Труднозгорающий	7,0	310	5	21	69
С добавлением жаростойкого пигмента:							
светло-красная	12	Самозатухающий	6,4	270	7	19	70
светло-синяя	9	-«-	6,5	280	6	19	71
светло-зеленая	11	-«-	6,5	280	7	19	71

* По АП-25 (Приложение F, Часть 1); ОСТ1 90094–79.

Таблица 4

**Коэффициент морозостойкости по эластическому восстановлению (K_v)
резины ВР-42 в различном цветовом исполнении**

Цветовое исполнение резины ВР-42	Значение K_v при температуре испытания, °С	
	-50	-55
Без пигментов – белая	0,46	0,22
С добавлением технического углерода – черная	0,46	0,23
С добавлением жаростойкого пигмента:		
светло-красная	0,44	0,21
светло-синяя	0,45	0,22
светло-зеленая	0,44	0,21

Температурный предел хрупкости резины ВР-42 составляет -65°С, а ее относительная остаточная деформация сжатия (ОДС) после выдержки при 200°С в течение 24 ч (степень сжатия образцов 20%) – около 30%.

Кремнийорганическая резина марки ВР-42 предназначена для изготовления формовых и неформовых резиновых уплотнительных деталей для неподвижных соединений, работающих на воздухе и в морской воде, в том числе в условиях арктического климата, – уплотнителей дверей, люков и прочих элементов конструкции летательных аппаратов и транспортных средств.

Герметизирующие материалы специального назначения

Герметики на основе полисульфидных каучуков широко применяются в изделиях авиационной, ракетной и космической техники, а также в изделиях транспортной техники для герметизации кабин, приборных и топливных отсеков, остекления и др. Основным назначением герметиков является обеспечение непроницаемости клепаных, болтовых и сварных соединений элементов конструкции [12, 13].

Полисульфидные каучуки (тиоколы) принадлежат к группе каучуков специального назначения. Благодаря ненасыщенной углеводородной структуре и наличию серы, они имеют ряд ценных свойств: стойкость к действию многих агрессивных сред (масел, нефтяных топлив, кислот, щелочей) и атмосферному воздействию (УФ излучение), стойкость к воздействию температур – от -60 до $+130^{\circ}\text{C}$, а также высокую газонепроницаемость. Однако в последние годы в связи с нестабильностью свойств исходных компонентов, в том числе и полисульфидных каучуков, возникла проблема увеличения сроков хранения и жизнеспособности герметиков марок У-30МЭС-5М, У-30МЭС-5МА и ВИТЭФ-1 [14, 15].

Во ФГУП «ВИАМ» проведены работы, направленные на восстановление и доработку технологий изготовления полисульфидных герметиков марок У-30МЭС-5М, У-30МЭС-5МА и ВИТЭФ-1 на основе российских тиоколовых каучуков, соответствующих ГОСТ 12812–80.

Проведены исследования свойств тиоколовых олигомеров, выпускаемых в настоящее время и являющихся основными компонентами герметиков марок У-30МЭС-5М, У-30МЭС-5МА и ВИТЭФ-1, по нескольким характеристикам: вязкость, рН водной вытяжки и массовая доля SH-групп. Результаты проведенных исследований показали, что отобранные партии тиоколов соответствуют требованиям ГОСТ 12812–80 «Тиоколы жидкие. Технические условия».

Исследовано взаимное влияние исходных компонентов на срок хранения следующих смесей: тиокол–фенолформальдегидный олигомер, тиокол–мел, тиокол–диоксид титана, тиокол–эпоксидный олигомер и тиокол–технический углерод. Установлено, что использование для изготовления герметизирующей пасты химически осажденного мела предпочтительней мела первого сорта, так как в химически осажденном меле

массовая доля примесей оксидов металлов меньше. Поскольку эти примеси оказывают ускоряющий эффект на процесс сшивки, то и срок хранения паст с химически осажденным мелом будет больше. Следует также отметить, что сурик железный марки «К», применяемый для изготовления вулканизирующей пасты №1 (герметик ВИТЭФ-1), рекомендуется использовать со значением рН водной вытяжки – не более 6,5, а технический углерод марки П-803, применяемый для изготовления герметизирующей пасты У-30Э-5 и компонента А, с рН водной суспензии – не выше 7,5. Эпоксидный олигомер Э-40, применяемый при изготовлении герметиков У-30МЭС-5М, У-30МЭС-5МА и ВИТЭФ-1, рекомендуется использовать только высшего сорта и не использовать раствор олигомера в толуоле.

Проведены исследования технологических и физико-механических свойств полисульфидных герметиков У-30МЭС-5М, У-30МЭС-5МА и ВИТЭФ-1, изготовленных с учетом вышеизложенных замечаний. Результаты проведенных исследований приведены в табл. 5.

Таблица 5

Технологические и физико-механические свойства полисульфидных герметиков У-30МЭС-5М, У-30МЭС-5МА и ВИТЭФ-1

Свойства	Значения свойств для герметика марки		
	У-30МЭС-5М	У-30МЭС-5МА	ВИТЭФ-1
Сроки хранения герметизирующих паст, мес	5	5	5
Жизнеспособность	2 ч 50 мин	7 ч 40 мин	3 ч 10 мин
Условная прочность в момент разрыва, МПа	2,1	2,9	2,2
Твердость по Шору А, усл. ед.	45	67	32

Из данных табл. 5 видно, что все показатели герметиков, изготовленных из компонентов, отобранных с учетом проведенных исследований, находятся на достаточно высоком уровне.

Во ФГУП «ВИАМ» также проведены работы по исследованию и доработке полисульфидного герметика ВИТЭФ-1Б. Цель данной работы – повышение технологичности и обеспечение доступности герметика для применения, в том числе в условиях арктического климата. Для выполнения этой задачи провели исследования различных пластификаторов в составе герметика, а также заменили дефицитную антисептическую добавку на более доступную. Проведено опробование пластификаторов в составе полисульфидного герметика ВИТЭФ-1Б. По результатам исследования установлено, что оптимальным пластификатором для полисульфидного герметика является дибутилфталат в количестве 6,5 г на 100 г полимера, а в качестве антисептической добавки – ТезагранБио.

Герметик ВИТЭФ-1Б с пластификатором присвоена марка ВИТЭФ-1Бм (рис. 1). Проведено исследование комплекса свойств герметика ВИТЭФ-1Бм,



Рис. 1. Полисульфидный герметик марки ВИТЭФ-1Бм

содержащего пластификатор. Установлено, что пластификатор повышает относительное удлинение в момент разрыва в исходном состоянии и при отрицательных температурах, а также не оказывает отрицательного влияния на адгезионные свойства герметика к различным металлам, в том числе к алюминиевым сплавам Д16-АТ, АМг6, АВ (авиаль) и СИАЛу. Новый антисептик, в свою очередь, обеспечивает грибостойкость герметика на уровне не более 1 балла.

Результаты оценки эксплуатационных свойств герметика ВИТЭФ-1Бм показали, что герметик выдержал испытания, а уровень его свойств соответствует требованиям, предъявляемым к герметику для применения в климатических условиях Арктики. Герметик ВИТЭФ-1Бм, по сравнению с отечественными и импортными аналогами, благодаря наличию в своем составе пластификатора, является более технологичным в применении, обладает более высокими относительным удлинением при разрыве и показателями адгезионной прочности, а также высокой микробиологической стойкостью [16].

Огне-теплозащитные эластомерные материалы

В рамках НИР «Создание совместной научной лаборатории и конструкционных и функциональных материалов для сложных технических систем, эксплуатируемых в экстремальных условиях арктического и субарктического климата» необходимо было разработать огнезащитные

материалы для их дальнейшего применения в условиях арктического и субарктического климата. При этом разработанные материалы должны выдерживать пламя горящей нефти в течение не менее 8 мин.

Ранее для таких целей использовались разработанные во ФГУП «ВИАМ» огнетеплозащитные эластомерные материалы марок ТЗР-3 и ТЗР-5М. Характерной особенностью данных материалов является то, что они могут подвергаться воздействию открытого пламени (до 1200°С) в течение не менее 20 мин, а также способны выдерживать отрицательные температуры. Недостатком данных материалов является наличие в их составе токсичных компонентов и низкое значение предела прочности при разрыве. Исходя из вышеизложенного было принято решение разработать новый огнетеплозащитный материал, не содержащий токсичных компонентов и способный выдерживать открытое пламя в течение не менее 30 мин [17].

При проведении работы выбран состав огнетеплозащитного эластомерного материала, представляющий собой композицию на основе хлорсульфированного полиэтилена, минеральных наполнителей (белая сажа БС-100, пентаэритрит, бензгуанами́н) и вулканизирующей группы. Разработанный огнетеплозащитный материал марки ТЗР-5МП изготавливают на смесительных вальцах путем смешения полимерной основы с минеральными наполнителями и вулканизирующей системой в строго определенной последовательности.

Физико-механические свойства материала ТЗР-5МП приведены в табл. 6.

Таблица 6

Свойства материалов ТЗР-3, ТЗР-5М и ТЗР-5МП в исходном состоянии

Материал	Технологические и физико-механические свойства			
	условная прочность при растяжении, МПа	относительное удлинение в момент разрыва, %	относительная остаточная деформация после разрыва, %	плотность, г/см ³
ТЗР-3	10,0	130	–	1,55–1,65
ТЗР-5М	6,5	140	8	1,30
ТЗР-5МП	9,6	200	4	1,27

Введение в состав огне-теплозащитного материала пентаэритрита и увеличение содержания хлорпарафина марки ХП-470 приводит к увеличению физико-механических характеристик как минимум на 30%. Увеличение предела прочности при растяжении связано с образованием поперечных связей сложноэфирного типа в результате реакции хлорсульфоновых групп с пентаэритритом, представляющим собой многоатомный спирт. Кроме того, бензгуанами́н, входящий в состав материала ТЗР-5МП, содержит аминные группы, принимающие участие в процессе вулканизации.

Проведены также испытания материала ТЗР-5МП на тепловой ресурс при различных температурах (50, 70, 100, 120°C) с выдержкой в течение 200, 500 и 1000 ч соответственно. Результаты представлены в табл. 7.

Таблица 7

Физико-механические характеристики огне-теплозащитного эластомерного материала ТЗР-5МП после воздействия различных температур

Температура, °С	Условная прочность при растяжении, МПа			Относительное удлинение в момент разрыва, %			Относительная остаточная деформация после разрыва, %			Твердость по Шору А, усл. ед.		
	200	500	1000	200	500	1000	200	500	1000	200	500	1000
50	7,3	7,4	8,3	150	140	100	10	14	8	89	90	90
70	8,0	8,0	9,0	120	130	100	7	8	8	89	91	89
100	7,4	8,2	9,5	100	120	100	6	9	8	89	90	90
120	7,8	10,5	12,2	80	70	40	7	6	4	89	92	91

Из данных табл. 7 видна зависимость физико-механических показателей материала от температуры и продолжительности ее воздействия. При одной и той же температуре воздействия на материал и постепенном увеличении продолжительности ее воздействия, условная прочность при растяжении возрастает. При этом относительная и остаточная деформации, наоборот, снижаются. При той и другой системах воздействия на материал, твердость по Шору А остается постоянной. Данные закономерности можно объяснить тем, что при воздействии повышенных температур на материал в течение длительного времени происходит его довулканизация с образованием новых связей.

Анализ физико-механических характеристик огнетеплозащитного эластомерного материала ТЗР-5МП после проведения ряда климатических испытаний по режимам:

– попеременное воздействие пониженной и повышенной температур $-60 \div +60^\circ\text{C}$ (10 циклов по 2 ч с 15 мин выдержкой при комнатной температуре между температурами);

– воздействие отрицательной температуры с периодическим увлажнением – при 40°C , влажности 95% в течение 22 ч + при -60°C в течение 2 ч (10 циклов);

– ускоренное старение (имитация 1 года) при влажности 97% (25 сут), при -60°C (1 сут), при $+60^\circ\text{C}$ (3 сут), при $-15 \div +15^\circ\text{C}$ (45 циклов);

– выдержка образцов в камере солевого тумана в течение 1 мес, показал, что ускоренные климатические испытания по указанным режимам не вызывают изменения цвета и размеров образцов материала ТЗР-5МП и не приводят к образованию трещин на поверхности образцов. Свойства материала ТЗР-5МП после проведения ускоренных климатических испытаний представлены в табл. 8.

Таблица 8

**Физико-механические характеристики материала ТЗР-5МП
после ускоренных климатических испытаний**

Вид климатического воздействия	Условная прочность при растяжении, МПа	Относительное удлинение в момент разрыва, %	Относительная остаточная деформация после разрыва, %	Твердость по Шору А, усл. ед.
При температурах $-60\div+60^{\circ}\text{C}$ (10 циклов по 2 ч)	7,3	140	6	90
При температуре 40°C и влажности 95% в течение 22 ч + при -60°C (10 циклов)	7,3	140	14	89
Ускоренное старение (имитация 1 года)	6,5	190	14	89
Камера солевого тумана (1 мес)	7,1	160	20	90

Из данных табл. 8 видно, что материал ТЗР-5МП хорошо выдерживает резкие перепады температур и высокую влажность.

Проведенные огневые испытания (горючесть, дымовыделение и прогораемость) огне-теплозащитного материала марки ТЗР-5МП показали, что материал ТЗР-5МП является сильнодымящим и труднотгорающим, соответствует требованиям АП-25 (Приложение F, Часть I; ОСТ 1 90094–79) по горючести.

Одной из основных характеристик огне-теплозащитных материалов является продолжительность выдержки материала в пламени при температуре $1100\pm 50^{\circ}\text{C}$. Такому виду огневых испытаний подвергали образцы материала ТЗР-5МП после различного климатического воздействия, а именно:

– при отрицательной температуре с периодическим увлажнением – температура 40°C , влажность 95% в течение 22 ч; температура -60°C в течение 2 ч (10 циклов);

– ускоренное старение (имитация 1 года) при влажности 97% (25 сут), при температурах -60°C (1сут), при $+60^{\circ}\text{C}$ (3 сут), при $-15\div+15^{\circ}\text{C}$ (45 циклов).

Климатические испытания проводили с целью обнаружения влияния климатических факторов на огнезащитную эффективность материала ТЗР-5МП. Образцы материала ТЗР-5МП размером $200\times 200\times 10$ мм после проведения климатических испытаний наклеивали на образец СИАЛа размером $200\times 200\times 2$ мм при помощи клея на основе эпоксидного олигомера марки ЭД-20. Результаты испытаний представлены в табл. 9.

Таблица 9

**Результаты испытаний материала ТЗР-5МП на прогораемость
(воздействие пламени горелки с температурой $1100 \pm 50^\circ\text{C}$
в течение 15 мин)**

Продолжительность огневых испытаний, мин	Температура на обратной стороне подложки, $^\circ\text{C}$		
	в исходном состоянии	после воздействия 40°C , влажности 95% в течение 22 ч + $+60^\circ\text{C}$ (10 циклов)	после ускоренного старения (имитация 1 года)
1	46	36	38
2	53	43	39
3	62	50	45
4	75	56	49
5	82	60	56
6	92	64	61
7	99	67	67
8	100	69	71
9	109	74	77
10	112	75	79
11	119	79	69
12	123	83	74
13	135	88	72
14	142	94	85
15	150	100	86

При испытании образцов материала ТЗР-5МП в исходном состоянии на прогораемость, температура на обратной стороне подложки после 15 мин воздействия пламени горелки составила 150°C . При испытании материала ТЗР-5МП после ускоренных климатических испытаний, температура на обратной стороне подложки не превысила 100°C , что позволяет предположить, что чередующееся воздействие повышенных и пониженных температур в совокупности с высокой влажностью положительным образом влияет на огневые свойства материала. Следует также отметить, что материал при воздействии пламени вспенился в 2–3 раза, а кокс, образовавшийся после прогара, имеет достаточно плотную и механически прочную структуру. На рис. 2 представлен образец материала ТЗР-5МП в исходном состоянии и после воздействия на него пламени горелки в течение 15 мин.

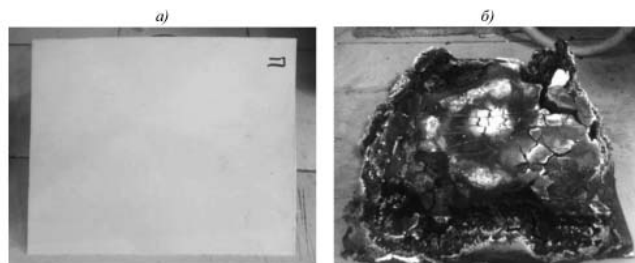


Рис. 2. Огне-теплозащитный материал марки ТЗР-5МП в исходном состоянии (а) и после воздействия пламени горелки ($1100 \pm 50^\circ\text{C}$) в течение 15 мин (б)

Определение значений теплофизических показателей (теплопроводность, температуропроводность и теплоемкость) материала ТЗР-5МП выявило, что материал ТЗР-5МП хорошо зарекомендовал себя как теплозащитный материал и превзошел по теплофизическим показателям свой аналог – материал ТЗР-5М. Средние значения теплофизических характеристик приведены в табл. 10.

Таблица 10

Теплофизические характеристики экспериментальных образцов материала ТЗР-5МП в сравнении со свойствами материала ТЗР-5М

Материал	Температура испытания, °С	Температуропроводность $a \cdot 10^{-6}, \text{ м}^2/\text{с}$	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Теплоемкость, кДж/(кг·К)
ТЗР-5МП	-40	0,19	0,21	0,86
	0	0,14	0,22	1,19
	+20	0,13	0,22	1,30
	+50	0,12	0,22	1,46
	+100	0,10	0,23	1,73
ТЗР-5М	-60	0,23	0,13	0,87
	0	0,16	0,15	1,42
	+20	0,15	0,15	1,51
	+50	0,14	0,16	1,50
	+100	0,12	0,16	1,58

Проведение термогравиметрического анализа огне-теплозащитных материалов ТЗР-5М и ТЗР-5МП в диапазоне температур от 35 до 1200°С при скорости нагрева 10 К/мин в воздушной среде показывает, что деструкция огне-теплозащитных материалов начинается при температурах ~ (230–240)°С, что следует отнести к первой стадии разложения хлорсульфированного полиэтилена (ХСПЭ). Начало интенсивного выделения газообразных продуктов приходится на температуру 477°С для материала ТЗР-5МП и 483°С – для материала ТЗР-5М, что также относится ко второй стадии разложения каучука. Третья стадия разложения начинается при температуре 492°С для материала ТЗР-5М и 552°С – для материала ТЗР-5МП. Пик выделения газообразных продуктов, связанный с третьей стадией разложения ХСПЭ, приходится на 513°С для материала ТЗР-5М и 589°С – для материала ТЗР-5МП. Из данных рис. 3 видно, что конечная стадия деструкции материала ТЗР-5МП начинается позже, чем у материала ТЗР-5М, и сопровождается более интенсивным выделением газообразных продуктов, что напрямую связано с наличием в составе материала ТЗР-5МП пентаэритрита.

Грибостойкость материала ТЗР-5МП составила 2 балла, что позволяет отнести его к грибостойким материалам.

Определены водо- и влагопоглощение образцов материала ТЗР-5МП без покрытия и с системой лакокрасочного покрытия (ЛКП). В качестве системы ЛКП использовали 1 слой грунтовки ХП-0206 зеленого цвета,

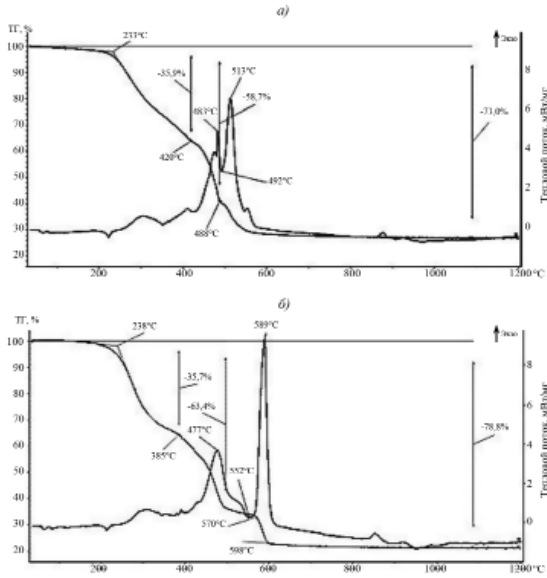


Рис. 3. Результаты ТГ-анализа образцов материалов ТЗР-5М (а) и ТЗР-5МП (б) в диапазоне температур от 35 до 1200°С в воздушной среде

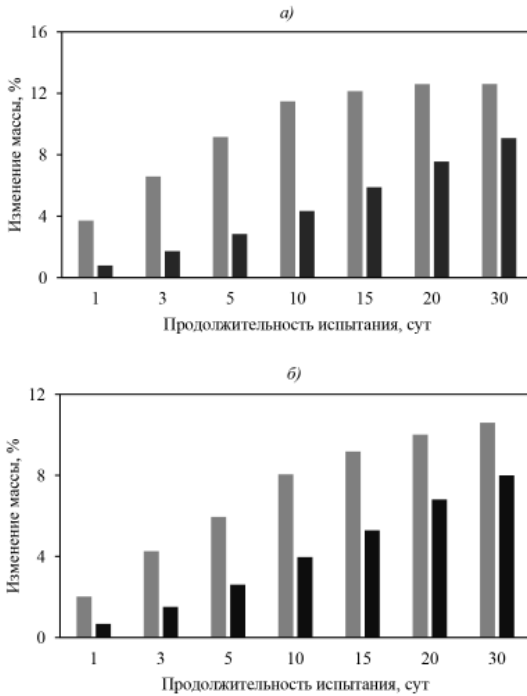


Рис. 4. Водно- (а) и влагопоглощение (б) материала ТЗР-5МП без (■) и с системой ЛКП (■)

3 слоя эмали ХП-5184 серого цвета; на торцы образцов наносили эмаль марки ЭП-140. Результаты испытаний представлены на рис. 4.

Испытания показали, что водопоглощение материала ТЗР-5МП без покрытия составило 12%, а с нанесенной системой ЛКП: 9%; при этом влагопоглощение материала ТЗР-5МП без покрытия составило 11%, а с нанесенной системой ЛКП: 8%. Следовательно, материал ТЗР-5МП, нанесенный на открытые участки элементов конструкций сложных технических систем, рекомендуется покрывать системой ЛКП.

Проведенные исследования показали, что использование пентаэритрита и бензгуанамина в качестве антипиренов позволило создать огне-теплозащитный эластомерный материал с улучшенными огневыми характеристиками и дало возможность рекомендовать его для использования в условиях арктического и субарктического климата. Материал марки ТЗР-5МП может использоваться как для огневой, так и для тепловой защиты силовых элементов конструкций, работающих при температурах от -60 до $+200^{\circ}\text{C}$, а также для защиты металлических элементов конструкций от воздействия высоких температур – до 1100°C в течение 30 мин.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-33-00032).

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. Химия в авиационном материаловедении // Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 3–4.
3. Каблов Е.Н. Шестой технологический уклад // Наука и жизнь. 2010. №4. С. 2–7.
4. История авиационного материаловедения. ВИАМ – 80 лет: годы и люди / под общ. ред. Е.Н. Каблова. М.: ВИАМ, 2012. С. 346–348.
5. Каблов Е.Н. Авиакосмическое материаловедение // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2008. №3. С. 2–14.
6. Чайкун А.М., Елисеев О.А., Наумов И.С., Венедиктова М.А. Особенности морозостойких резин на основе различных каучуков // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2013. №12. Ст. 04. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 08.02.2017).
7. Наумов И.С., Петрова А.П., Елисеев О.А., Барботько С.Л. Экспериментальные исследования в области создания кремний-

- органических резин с пониженной горючестью // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2015. №10. Ст. 09. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 09.02.2017). DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-10-9-9.
8. Наумов И.С., Петрова А.П., Барботько С.Л., Елисеев О.А. Резины с пониженной горючестью // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2016. №4. С. 27–33.
 9. Чайкун А.М., Наумов И.С., Петрова А.П. О возможности использования резин в Арктических условиях // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2016. №5. С. 13–22.
 10. Наумов И.С., Петрова А.П., Барботько С.Л., Гуляев А.И. Резины с пониженной горючестью на основе этиленпропилен-диенового каучука // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2016. №2. Ст. 09. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 10.02.2017). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-2-9-9.
 11. Алифанов Е.В., Чайкун А.М., Венедиктова М.А., Наумов И.С. Особенности рецептур резин на основе этиленпропиленовых каучуков и их применение в изделиях специального назначения (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2015. №2 (35). С. 51–55. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-2-51-55.
 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. Зайцева Е.И., Чурсова Л.В. Исследование микробиологической стойкости полисульфидного герметика с новыми антисептическими добавками // Клеи. Герметики. Технологии. 2012. №1. С. 16–20.
 14. Zaitseva E.I., Donskoj A.A.. Sealants Based on Polysulfide Elastomers // Polymer Science. Ser. D. 2008. Vol. 1. Issue 4. P. 289–297.
 15. Зайцева Е.И., Донской А.А. Новые полисульфидные герметики для авиационной промышленности // Клеи. Герметики. Технологии. 2009. №3 С. 18–23.
 16. Зайцева Е.И., Чурсова Л.В., Смирнов Д.Н. Перспективы снижения плотности полисульфидных герметиков // Клеи. Герметики. Технологии. 2012. №5. С. 10–14.
 17. Краснов Л.Л., Кирина З.В. Материалы, обеспечивающие защиту конструктивных элементов от теплового воздействия в процессе их кратковременной и длительной эксплуатации при температуре 260°С // Авиационные материалы и технологии. 2010. №1. С. 3–7.