

УДК 629.7.023.224:621.454.3

DOI: <http://dx.doi.org/10.20535/0203-3771332017119626>**К. В. Козис**<sup>1</sup>, *ведущий инженер,***Т. А. Манько**<sup>2</sup>, *профессор, д.т.н.,***А. М. Потапов**<sup>3</sup>, *начальник комплекса новых материалов и перспективных технологий, к.т.н.,***А. И. Скоков**<sup>4</sup>, *главный технолог,***С. П. Лавриненко**<sup>5</sup>, *инженер-технолог I категории*

## РАЗРАБОТКА ЭЛАСТОМЕРНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ВНУТРЕННЕГО ТЕПЛОЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

**En**

For years Yuzhnoye State Design Office named after M.K. Yangel has been developing space systems based on advanced manufacturing sciences.

At present, work is directed to the reduction of hardware weight by the replacement of product original material from traditional metals and alloys to polymeric composites (PC). Composites are actively applied in manufacturing of large-size products as rocket solid-propellant engine cases (RSPEC). One of the main factors of RSPEC exploitation is the provision this case with safe internal heat-resistant coating which carries out next functions:

- protection of thermal deformations influence specified by different values of thermal expansion coefficient of case material and solid propellant;
- protection of high-temperature gas environment influence during the product work;
- leak proofness of force cover;
- protection of moisture penetration filler and plasticizer migration to RSPEC material

It should be noted that application of known types of heat-resistant materials and glue compositions in construction has certain risks, because properties of new composite materials, their cooperation with heat-resistant coatings and glue compositions, also physical-mechanical properties and thermal characteristics have not studied fully.

In this connection, the development of modern heat-resistant coating is an important factor at RSPEC creating.

During the work, analysis and selection of materials for internal heat-resistant coating, available on Ukrainian market, have been carried out by specialists of Yuzhnoye SDO and State Enterprise «Ukrainian Research Design-Technological Institute of Elastomer Materials and Products».

Comprehensive analysis of multilayer structure layers of heat-resistant pack has been performed by modern methods and coating fabrication method has been im-

<sup>1</sup> Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М. К. Янгеля»

<sup>2</sup> Днепропетровский национальный университет им. Олеся Гончара, кафедра технологии производства

<sup>3</sup> Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М. К. Янгеля»

<sup>4</sup> Государственное предприятие «УНИКТИ «ДИНТЭМ»

<sup>5</sup> Государственное предприятие «УНИКТИ «ДИНТЭМ»

proved. Findings of investigation have allowed the creating of the internal heat-resistant coating for RSPEC using PC providing their operational data.

**Уа**

У статті відображені основні результати робіт, які пов'язані з розробкою рецептурного складу та технології виготовлення еластомерного матеріалу, котрий використовують під час виготовлення внутрішнього теплозахисного покриття корпусів ракетних двигунів твердого палива із полімерних композиційних матеріалів.

### **Введение**

Поиск путей эффективного снижения веса изделий ракетно-космической техники сопровождается постоянно нарастающей тенденцией использования в ее узлах и агрегатах полимерных композиционных материалов (ПКМ), обладающих рядом уникальных характеристик. Среди них особое место занимает ракетный двигатель твердого топлива. Его силовая оболочка корпуса при сгорании топлива подвергается интенсивному огневому и тепловому воздействию, при котором возможны термические повреждения, связанные с прогаром несущих слоев или термическим деформированием. Силовая оболочка корпуса защищается внутренним теплозащитным покрытием, которое и должно обеспечивать работоспособность двигателя [1, ..., 3].

### **Постановка задачи**

Разработка теплоизоляционного покрытия, на поверхности которого путем намотки композиционного материала создается силовая оболочка корпуса двигателя, является сложной технической задачей, решение которой связано с поиском и выбором материалов для теплозащиты.

### **Результаты исследований**

Внутренняя теплозащита корпусов современных ракетных твердо-топливных двигателей представляет собой многослойное покрытие из специальных материалов, каждый слой которых выполняет определенные функции. Это крепящий, барьерный, герметизирующий (основной) и адгезионные слои. При сгорании топлива эти слои покрытия создают соответствующие термические сопротивления и обеспечивают тепловую защиту корпуса двигателя. Самая длительна термическая нагрузка приходится на герметизирующий (основной) слой внутренней теплозащиты.

Наиболее перспективными материалами для этого слоя являются эластомерные материалы, поскольку они легко деформируются под действием небольших нагрузок и восстанавливают свою форму после даже весьма значительных деформаций [4].

Ведущими специалистами Государственного предприятия «КБ «Южное» им. М. К. Янгеля и Государственного предприятия «УНИКТИ «ДИНТЭМ» (г. Днепр) проведены исследования по созданию каландрованной резиновой смеси, которая удовлетворяет требованиям к теплозащитным покрытиям и обеспечивает работоспособность двигателя при эксплуатации. Был проведен анализ свойств ингредиентов для каландрованной резиновой смеси, предложен ее рецептурный состав, определены физико-механические и теплофизические характеристики, отработана технология изготовления.

Резиновая смесь – многокомпонентная система, в состав которой входят каучук и различные жидкие и порошкообразные составные части – ингредиенты. Каждый ингредиент (компонент) придает смеси определенные свойства и вводится в определенном количестве и порядке.

Каучуки являются основным сырьем при изготовлении резиновых смесей и представляют собой высокомолекулярные соединения. Установлено, что от правильного выбора типа каучука (полимера) при разработке рецептурного состава резиновой смеси в конечном итоге зависит комплекс ее свойств, отвечающий требованиям внутреннего теплозащитного покрытия.

Для резиновой смеси были выбраны этиленпропиленовые каучуки (СКЭПТ-40,50), которые состоят из чередующихся звеньев этилена и пропилена, и содержат небольшие количества (0,9-2,0 мол.%) диенов. В качестве исходных диенов могут применяться: дициклопентадиен, 1,5-циклооктадиен и др. [5, 6].

Этиленпропиленовые и этиленпропилендиеновые каучуки обладают высокой озono-, кислородо-, погодо-, теплостойкостью, стойкостью к ряду агрессивных сред (спирты, гликоли, кетоны, эфиры, гидравлические жидкости, щелочи, кислоты). Эти сополимеры характеризуются также высокими диэлектрическими показателями, достаточно высокой прочностью на разрыв, эластичностью по отскоку, повышенным сопротивлением истиранию.

Для придания каучуку способности вулканизоваться к нему необходимо добавить вулканизирующий агент, а также ускорители и активаторы, чтобы можно было проводить вулканизацию каучука достаточно быстро.

Показано, что в зависимости от специфики действия компонентов и влияния их на свойства резиновых смесей и вулканизаторов в качестве ингредиентов должны использоваться: вулканизирующие вещества или вулканизирующие агенты, ускорители вулканизации, активаторы, противостарители, активные наполнители или усилители, пластификаторы (мягчители), ингредиенты специального назначения [7, 8].

В табл. 1 приведен перечень ингредиентов, входящих в состав рецептуры резиновой смеси.

Таблиця 1.

Перечень ингредиентов, входящих в состав рецептуры резиновой смеси

Наименование компонента	НТД	Назначение компонента
СКЭПТ-50	ТУ 38103252-92	Основа резиновой смеси (каучук)
Сера техническая	ГОСТ 127-76	Вулканизирующий агент
Тетраметил- тиурамди-сульфид (тиурам Д)	ГОСТ 740-76	Ускоритель вулканизации
2,2-дибезтиазолил- дисульфид(альтакс)	ГОСТ 7087-75	Ускоритель вулканизации
N,N'-дитиоди-морфолин	ТУ 6-14-321-79	Ускоритель вулканизации
2-меркапто-бензтиазол (каптакс)	ГОСТ 769-74	Ускоритель вулканизации
Белила цинковые	ГОСТ 202-76	Активатор вулканизации
Стеариновая кислота	ГОСТ 6484-64	Мягчитель, диспергатор
Смола инден- кумароночная	ОСТ-14-30-77	Для повышения клейкости
Смола фенол- формальдегидная СФ-010А	ГОСТ 18694-73	Для вулканизации для повышения теплостойкости
Уротропин	ГОСТ 381-73	Вторичный укоритель вулканизации
Сажа белая БС-120	ГОСТ 18307-78	Наполнитель для повышения тепло-, огнестойкости
Техуглерод К-354	ТУ 38.005129-78	Активный наполнитель для повышения прочностных свойств
Эфир канифоли глицериновый	ОСТ 81-26-71	Пластификатор для повышения клейкости
Дибутилсебацат (ДБС)	ГОСТ 8728-77	Пластификатор для повышения морозо- стойкости
Техуглерод N220	ГОСТ 7885	Активный наполнитель
Техуглерод N330	ГОСТ 7885	Активный наполнитель

*Механика элементов конструкции*

Наименование компонента	НТД	Назначение компонента
Изо-метилтетрагидрофталевый ангидрид (ИМТГФА)	ТУ 38 103149-85	Активный наполнитель
Углерод технический марки П803	ГОСТ 7885-86	Активный наполнитель
Нафтам-2	ГОСТ 39-66	Противостаритель
Глицидол	ТУ 38 102132-78	Активный наполнитель

Перечисленные ингредиенты необходимы для разработки рецептуры резиновых смесей со свойствами в соответствии с требованиями, предъявляемыми к внутреннему теплозащитному покрытию.

Каландрованная резиновая смесь изготавливалась на смесительных вальцах ЛБ 320  $\frac{160}{160}$  при температуре валков (30 ... 40)<sup>0</sup>С. В процессе отработки технологии изготовления резиновых смесей проводились работы по определению оптимального режима вулканизации. После чего в соответствии с ГОСТ 270-75 и ГОСТ 263-75 были изготовлены стандартные образцы для проведения физико-механических и теплофизических испытаний (табл. 2).

**Таблица 2**

Физико-механические показатели вариантов рецептур резины

Наименование физико-механических показателей	Заданные требования	Обозначение вариантов рецептур резины				
		1	2	3	4	5
Предел прочности при растяжении, кгс/см <sup>2</sup> , не менее	80	80	90	85	93	101
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее	460	500	600	650	650	690
Относительная остаточная деформация после разрыва, %, не более	40	42	43	44	40	38
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,02...1,08	1,05	1,1	1,08	1,07	1,03
Теплопроводность, Вт/(м*К)	0,24	0,2501	0,2518	0,2486	0,2493	0,2381
Удельная теплоемкость кДж/(кг*К),	1,46	1,46	1,45	1,45	1,45	1,46

Как следует из данных табл. 2, все опытные варианты резины по физико-механическим и теплофизическим показателям соответствуют заданным. При этом наилучшим комплексом свойств обладает резина под шифром 5. Данная рецептура использовалась для дальнейших исследований.

Для получения заготовок каландрованного резинового полотна заданной толщины разработана и отработана технология его изготовления на 5-валковом каландре 5-200-600Л ГОСТ 11993-71 (табл. 3).

**Таблица 3**

Технические характеристики каландра 5-200-600Л

Наименование параметра	Номинальная величина
Диаметр валков, мм	200
Длина валков, мм	600
Количество валков, шт.	5
Наибольший зазор между валками, мм	10
Окружная скорость 5-го валка, м/мин	
а) минимальная	5,42
б) максимальная	16,5
Наименьшая частота вращения 3-го валка (приводного), об/мин	8,474
Наименьшая окружная скорость 3-го валка, м/мин	5,33
Фрикция между валками	
1 и 2	1 : 1,06
2 и 3	<u>1 : 0,66</u> 1 : 1,06
3 и 4	1 : 1,06
4 и 5	1 : 1
Мощность электродвигателя, кВт:	
Главного привода (ток постоянный)	11
Передвижения валков (ток переменный)	1,1
Частота вращения электродвигателей, об/мин:	
а) минимальная	750
б) номинальная	1500
в) максимальная	2200
г) механизма передвижения валков	930

В табл. 4 представлены данные по качеству каландрованного полотна резиновой смеси при различных температурах каландрования.

**Таблица 4.**

Показатели качества поверхности каландрованного полотна, полученного при различных режимах каландрования

№ п/п	Температура валков каландра, °С				Скорость каландрования, м/мин	Качество поверхности полотна
	Верхний №2	Средний №3	Нижний №4	Выносной №5		
1	55	50	55	50	3	Неровности, шубление, пузыри, поры, калибр переменный
2	65	60	65	60	4	Неровности, пузыри, поры, калибр переменный
3	75	70	75	70	5	Поверхность неоднородная, пузыри, калибр переменный
4	85	80	90	85	5	Поверхность ровная, без пузырей и пор, калибр постоянный

После серии экспериментов и анализа полученных результатов установлено, что при увеличении температуры валков с 50 до 85<sup>0</sup>С и скорости каландрования от 3 до 5 м/мин возможно, получить ровное, без пузырей, пор и трещин полотно, пригодное для дальнейших технологических операций (раскройки, сборки изделия по элементам) и изготовления внутреннего теплозащитного покрытия. Разработанный режим каландрования позволяет получать резиновую смесь толщиной от 0,5 до 2 мм.

### **Выводы**

Создан рецептурный состав каландрованной резиновой смеси, отработана технология ее изготовления и каландрования, а также разработаны технические условия применения. Данная каландрованная резиновая смесь рекомендована в качестве барьерного и основного слоя внутреннего теплозащитного покрытия ракетных двигателей твердого топлива.

**Список использованной литературы**

1. Санін Ф. П. Твердопаливні ракетні двигуни. Матеріали і технології: підручн. / Ф. П. Санін, Л. Д. Кучма, Є. О. Джур, А. Ф. Санін – Д.: ДГУ, 1999. – 320 с.
2. Алексеев Ю. С. Технологія виробництва ракетно-космічних літальних апаратів: навч. посібн. / Ю. С. Алексеев, О. Є. Джур, О. В. Кулик та ін.; за ред. д-ра техн. наук Є. О. Джура.– Д.: АРТ-ПРЕС, 2007.– 480 с.
3. Джур Є. О. Полімерні композиційні матеріали в ракетно-космічній техніці: Підручник / Є. О. Джур, Л. Д. Кучма, Т. А. Манько, В. Г. Сітало, Ф. П. Санін, А. Ф. Санін. – К.: Вища освіта, 2003. – 399 с.
4. 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.
5. Каблов Е. Н. Химия в авиационном материаловедении // Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 3-4.
6. Алифанов Е. В. Особенности рецептур резин на основе этиленпропиленовых каучуков и их применение в изделиях специального назначения (обзор) / Е. В. Алифанов, А. М. Чайкун, М. А. Венедиктова, И. С. Наумов // Авиационные материалы и технологии 2015 32 С. 51-55.
7. Кошелев Ф. Ф. Общая технология резины. / Ф. Ф. Кошелев, А. Е. Корнев, А. М. Буканов // М.: Химия, 1987. – 527 с.
8. Большой справочник резинщика в 2 ч. М.: Техинформ, 2012. – 1385 с.