

УДК 621.454.3.01

А.С. ЧМУЛЕНКО, В.Г. КОРОЛЕВ, В.Н. ЛЬНЯНОЙ, Ю.А. ЛЯХ

*Государственное предприятие «КБ «Южное» им. М.К. Янгеля», Днепропетровск*

## К ВОПРОСУ ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ВЫБОРА МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ НАНЕСЕНИЯ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ВНУТРЕНнюю ПОВЕРХНОСТЬ КОРПУСОВ СПЕЦИАЛЬНЫХ МАЛОГАБАРИТНЫХ РДТТ

*Отражен опыт нанесения теплозащитных покрытий (ТЗП) на внутреннюю поверхность корпусов специальных малогабаритных двигателей твердого топлива. При этом в процессе выбора материалов ТЗП и технологической схемы их нанесения учитывались особенности конструктивной схемы двигателей, важнейшими из которых являются габариты изделия, вид заряда, время работы на основном режиме, схемы горения и др. На примере двух типовых конструкций твердотопливных двигателей с моноблочным прочноскрепленным зарядом торцевого горения и вкладным многошашечным зарядом всестороннего горения описаны технологические схемы нанесения ТЗП из принципиально отличающихся материалов – жидкозаливочного материала и порошковой смеси на основе фенольного связующего с карбидо-кремниевым наполнителем.*

**Ключевые слова:** двигатель, РДТТ, теплозащитное покрытие, технология нанесения, материалы, твердое ракетное топливо, двигатель торможения.

### Введение

Выбор материалов и технологической схемы нанесения теплозащитного покрытия (ТЗП) на внутреннюю поверхность камеры сгорания ракетных двигателей на твердом топливе (РДТТ) диктуется особенностями их конструктивной схемы, важнейшими из которых являются габариты изделий, вид заряда твердого топлива (ЗТТ) (вкладной шашечный баллистит или смесевой скрепленный с корпусом), время работы РДТТ на основном режиме, схема поверхностей горения ЗТТ (канально-щелевая, звездообразная, торцевого горения и др.), закон изменения поверхностей горения при функционировании изделия [1, 2].

Особенно важно определиться с этим выбором в процессе работы над технологичностью конструкции на этапе эскизного проектирования, поскольку создание технико-экономически оптимальной конструкции немислимо без обеспечения её технологичности, что позволит сократить время и средства на всех стадиях разработки, технологической подготовки производства, изготовления и эксплуатации изделия.

В настоящем сообщении проанализирован опыт предприятия по выбору материалов и технологических схем нанесения внутренних ТЗП на малогабаритные металлические корпуса РДТТ специального назначения, когда рекомендуемые технические решения [2, 3] пришлось видоизменять и отрабатывать в зависимости от габаритов и особенностей конструктивной схемы снаряженного корпуса.

### Результаты исследований

Изделия были сгруппированы по времени работы на установившемся режиме и схеме снаряжения. Объектами исследований были определены корпуса малогабаритных РДТТ специального назначения разработки ГП «КБ «Южное».

На рис. 1 представлена конструктивная схема корпуса с ТЗП двигателя с большим временем работы на основном режиме с моноблочным ЗТТ торцевого горения, сформированным непосредственно в корпусе и скрепленным со стенками корпуса через систему компенсационных манжет.

Успешному решению вопросов по отработке технологии нанесения ТЗП на корпусе рассматриваемой конструкции способствовал правильный выбор и обоснование способа нанесения ТЗП на этапе проектирования. Из рассмотрения конструкции корпуса следует, что габариты корпуса не позволяют воспользоваться штатной технологией послойного ручного нанесения листового полуфабриката на подготовленную поверхность с последующей вулканизацией покрытия [3]. Задача усложняется еще и необходимостью создания на поверхности покрытия слоистой системы компенсационных манжет для уменьшения напряжений в ЗТТ, возникающих при эксплуатации изделия.

Поэтому ещё на этапе проектирования был предложен так называемый «обратный» способ нанесения покрытия на корпус. Сущность этого спо-

соба заключается в следующем. Послойная выкладка пакета листового полуфабриката с системой компенсирующих манжет в обратном порядке осуществляется на поверхности технологической оправки, наружный профиль которой соответствует внутреннему профилю корпуса за вычетом толщины уложенного пакета ТЗП, а также необходимого технологического зазора с учетом максимальной толщины технологического резинового мешка, упресковки толщины покрытия при вулканизации и др.

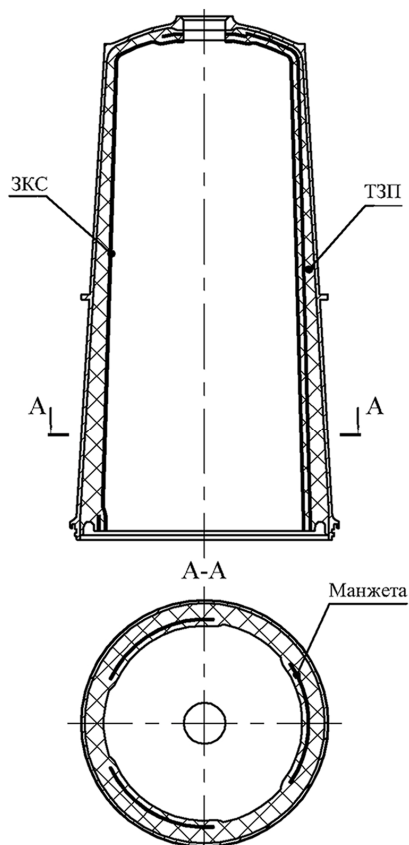


Рис. 1. Корпус с ТЗП двигателя торцевого горения

После укладки всего пакета покрытия, на оправку концентрично устанавливается корпус с предварительно подготовленной внутренней поверхностью. Поджатие пакета покрытия к поверхности корпуса в процессе вулканизации производится путем подачи глицерина в зазор между оправкой и технологическим резиновым мешком.

Вопрос об исключении на поверхности склеивания «ТЗП – металл» изолированных замкнутых полостей, содержащих воздух, усложняется тем, что вакуумирование этого зазора является недостаточно эффективным из-за невозможности обеспечения дренажа по всей поверхности склеивания. Известно, что при штатном способе нанесения ТЗП такие проблемные участки (межслойные вздутия и непрيلегания) должны прокалываться и воздух из них подлежит удалению (выдавливанию) путем тщательной ручной прикатки роликом.

В результате отработки технологии нанесения ТЗП на этапе экспериментальной отработки величина и количество таких дефектов было сведено к минимуму, допускаемому техническими условиями на корпус с ТЗП.

Положительную роль в решении этого вопроса сыграла не только сушка досуха последних слоев клея на поверхностях «ТЗП – металл», но и применение особой последовательности технологических операций вакуумирования, предотвращающей немедленный прижим ТЗП к металлу при включении подачи глицерина в начале процесса вулканизации покрытия (рис. 2, а).

Следующим этапом дальнейшего совершенствования технологии нанесения ТЗП на металлический корпус РДТТ стало применение жидкозаливочного теплозащитного материала в конструкции, схема которой представлена на рис. 2, б.

Применение жидкозаливочного материала в качестве ТЗП было продиктовано особенностями прочноскрепленного моноблочного ЗТТ торцевого горения, выбор которого был predetermined ограничением максимального диаметра корпуса и сравнительно большим временем работы двигателя. При этих ограничениях крайне затруднительно использовать ЗТТ с внутренним каналом – наиболее отработанный и обеспечивающий минимальный вес ТЗП корпуса, поскольку это потребовало бы применения топлива с такими значениями скорости горения, уровень которых становился проблемным.

Необходимость применения манжетной схемы, т.е. частичное, а не полное скрепление ЗТТ с корпусом, вызвано ограниченной эластичностью примененного состава топлива.

Технологическая схема нанесения ТЗП на корпус была выбрана и обоснована на этапе проектирования и состоит из последовательности следующих основных операций:

- изготовление «мешка» с манжетами и защитно-крепящим слоем (ЗКС) на технологической оправке, формирующей внутренний контур ТЗП корпуса, методом послойной выклейки;
- вулканизация «мешка» при определенных температуре и давлении, разборка оснастки и контроль качества ЗКС;
- установка корпуса концентрично на оправку и заливка жидкого теплозащитного состава в зазор между корпусом и «мешком», одетым на технологическую оправку; отверждение ТЗП, извлечение оснастки, вскрытие и контроль манжет.

Поскольку в качестве ТЗП корпуса жидкозаливочный материал был применен впервые, возникла необходимость решения ряда проблем, возникших при отработке технологии его нанесения и результатах контроля качества полученного покрытия.

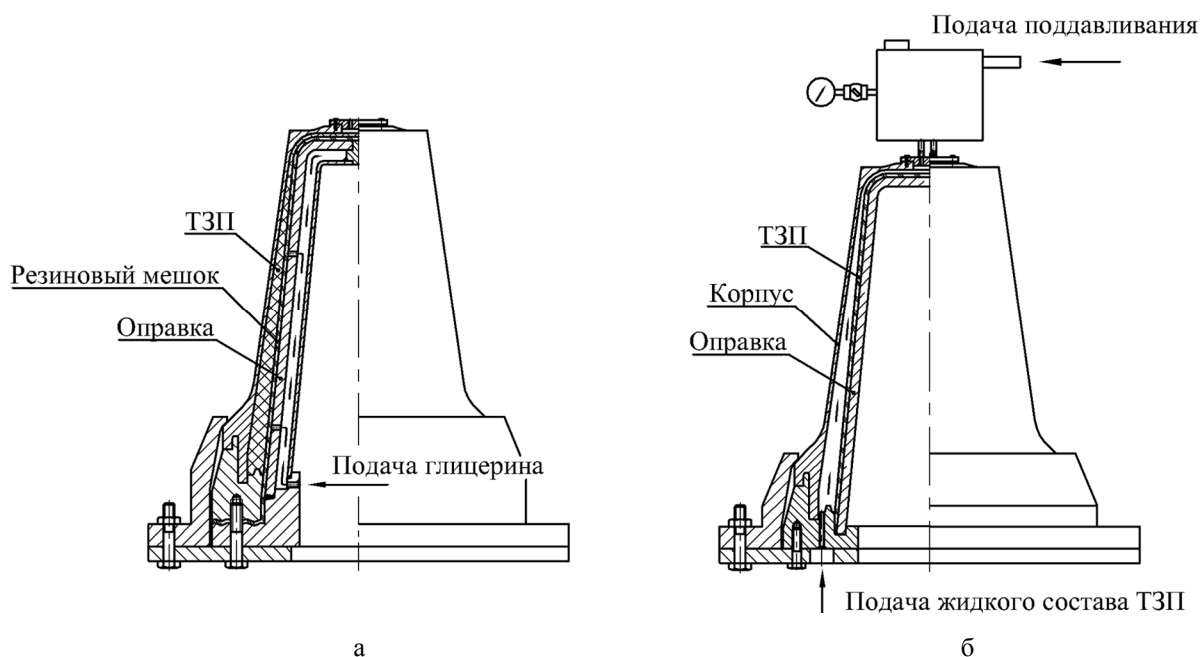


Рис. 2. Технологические схемы «обратного» нанесения ТЗП на внутреннюю поверхность корпуса РДГТ с помощью вклейки (а), и заливки ТЗП жидкого состава (б).

На начальном этапе отработки технологии было выявлено наличие в покрытии раковин, пор, недоливов. Для их устранения в технологический процесс были введены изменения, важнейшими из которых являются следующие:

- вакуумирование жидкозаливочной массы состава ТЗП при её приготовлении в вакуум-смесителе;
- стравливание массы (не менее 2 кг) из верхней части корпуса в конце заполнения);
- установка на выходе из корпуса компенсационной ёмкости с избытком массы для заполнения возможной усадочной раковины при отверждении.

Эти мероприятия позволили снизить количество и размер раковин в покрытии. Для их обнаружения была отработана и внедрена методика рентгеноконтроля сплошности теплозащитного материала в залитых корпусах.

По результатам набора статистики были проведены исследования по обоснованию норм дефектности по порам и раковинам. На основании исследования состояния материальной части в местах раковин после положительных огневых стендовых испытаний (ОСИ) в технические условия на изготовление корпуса с ТЗП были введены допустимые нормы дефектности по раковинам и пористости покрытия.

На рис. 3 представлена конструктивная схема типового твердотопливного двигателя от группы малогабаритных РДГТ торможения увода отработавших ступеней ракеты с нанесенным на внутреннюю поверхность его корпуса полимерным ТЗП.

Двигатель представляет собой полый тонкостенный металлический корпус 2 с кронштейном 4 для крепления к ракетоносителю, имеющий с одной стороны крышку 5 с устанавливаемыми пиропатронами 6 и воспламенителем 3, а с другой стороны сопло 7. Заряд 1 двигателя представляет собой вкладной многошашечный баллистит, свободно размещаемый в полости корпуса.

Учитывая конструктивные особенности, габариты изделия, а также необходимость получения ТЗП разной толщины на отдельных участках корпуса, применение известных методов нанесения ТЗП оказалось невозможным, поэтому был выбран метод струйного напыления порошковой смеси на нагретую поверхность корпуса, позволяющий получать покрытие толщиной от 0,5 до (1÷2) мм.

Метод струйного напыления, основанный на нанесении воздушно-порошковой смеси на нагретую поверхность изучен достаточно хорошо и нашел широкое применение в различных отраслях народного хозяйства [4].

Однако применение этого метода для нанесения ТЗП в рассматриваемой конструкции потребовало установить оптимальные параметры процесса (расход материала, температуры отверждения, скорости охлаждения и др.), а также состава и весового соотношения компонентов напыляемой порошковой композиции на показатели качества покрытия.

В качестве компонентов порошковой композиции были выбраны связующее фенольное порошковое (пудвербакеллит) марки СФП-202 Л1 и наполнитель – карбид кремния (SiC) марки 54С.

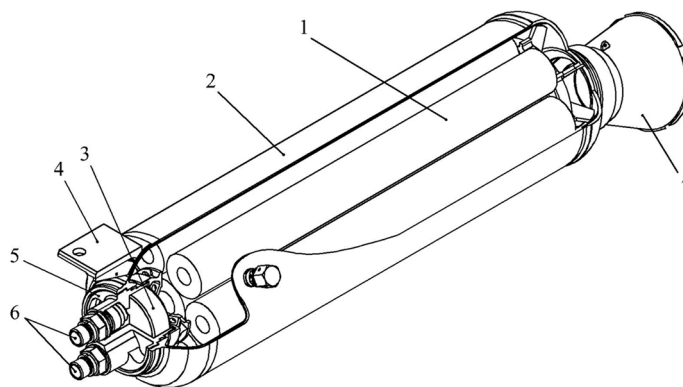


Рис. 3. Твердотопливный двигатель торможения  
1 – заряд; 2 – корпус; 3 –воспламенитель; 4 – кронштейн крепления к РН; 5 – крышка; 6 – пиропатроны; 7 – сопло

Нанесение и получение покрытия производилось на специальной установке, которая включает электрическую термокамеру конвекционного типа, оборудованную механизмом вращения с элементами крепления корпуса двигателя, питатель, оборудованный горизонтальным и вертикальным вибраторами и распылитель воздушно-порошковой смеси, оборудованный механизмом поступательно-возвратной подачи.

Получение покрытия производится в термокамере послойным напылением смесей на нагретую внутреннюю поверхность корпуса до температуры плавления смеси, которая для данной смеси составляет  $(125 \div 135)^\circ\text{C}$ , при непрерывном вращении корпуса двигателя и постоянном контроле регулируемых технологических параметров:

- температура нагрева поверхности корпуса в термокамере  $(125 \div 135)^\circ\text{C}$ ;
- скорость вращения корпуса  $(200 \div 250)$  об/мин;
- скорость перемещения штанги распылителя  $0,5$  м/мин;
- расход смеси  $(80 \div 120)$  г/мин.

Равномерный слой покрытия требуемой толщины получали в результате нескольких проходов возвратно-поступательной подачей штанги распылителя в сочетании с определенной скоростью вращения корпуса двигателя. Для нанесения покрытия в зоне задней полусферы корпуса, распылитель останавливали по заданной программе на  $(6 \div 20)$  с, в зависимости от радиуса полусферы.

После термообработки проводили определение основных химических и физико-механических характеристик полученного полимерного покрытия:

- объемный вес, методом гидростатического взвешивания;
- содержание смолы и степень полимеризации;

– определение адгезионной прочности защитного покрытия.

Метод защищен патентами Украины [5 – 7].

Результаты функциональных (включая ОСИ) и эксплуатационных испытаний подтвердили требуемый уровень качества и надежности ТЗП корпуса в течение всего периода эксплуатации изделия.

### Основные выводы

1. На этапах проектирования и отработки выбраны, обоснованы и отработаны эффективные технологические схемы по нанесению внутренних ТЗП на металлические корпуса специальных малогабаритных РДТТ.

2. Выбор материала и технологической схемы нанесения ТЗП был продиктован конструктивными особенностями двух типов РДТТ: двигателей с моноблочным ЗТТ торцевого горения, скрепленным со стенками металлического корпуса через систему компенсационных манжет с длительным временем работы с одной стороны, и двигателей с вкладным многошашечным зарядом и коротким временем работы на установившемся режиме (до  $1 \div 2$  с) с другой.

3. Всесторонними исследованиями и испытаниями полученных ТЗП, включая ОСИ, эксплуатационные испытания, подтвержден требуемый уровень качества и надежности корпусов с ТЗП в течение всего периода эксплуатации изделия.

### Литература

1. Фахрутдинов И.Х. Конструкция и проектирование ракетных двигателей твердого топлива: Учебник для машиностроительных вузов / И.Х. Фахрутдинов, А.В. Котельников. – М. Машиностроение, 1987.

2. Виницкий А.М. Конструкция и обработка РДТТ / А.М. Виницкий, В.Т. Волков, И.Т. Волковицкий, С.В. Холодилов; под ред. А.М. Винницкого. – М. Машиностроение, 1980.

3. Эластомерные теплозащитные материалы. Обзор. – М., ОНТИ ВИАМ, 1969.

4. Применение полимерных материалов в качестве покрытий / С.В. Генель и др. – М.: Химия, 1986.

5. Пат. №37619 Украина. Способ получения покрытия на поверхности металлических изделий.

Королев В.Г., Красников А.И., Балицкий И.П., Курченко А.С., Льяной В.Н., Гусаров В.Г. 15.05.01 г.

6. Пат. №77103 Украина. Способ получения покрытия на поверхности металлических изделий. Калашиников Н.А., Королев В.Г., Красников А.И., Балицкий И.П. 16.03.06 г.

7. Пат. №74205 Украина. Способ получения покрытия на поверхности металлических изделий и устройство для осуществления способа. Калашиников Н.А., Красников А.И., Льяной В.Н., Гусаров В.Г. 03.03.03 г.

Поступила в редакцию 29.05.2009

**Рецензент:** канд. техн. наук, Главный конструктор КБ В.Н. Шнякин, Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля», Днепропетровск, Украина.

### ДО ПИТАННЯ ПРО ОСОБЛИВОСТІ ВИБОРУ МАТЕРІАЛІВ І ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ НАНЕСЕННЯ ТЕПЛОЗАХИСНИХ ПОКРИТЬ НА ВНУТРІШНЮ ПОВЕРХНЮ КОРПУСІВ СПЕЦІАЛЬНИХ МАЛОГАБАРИТНИХ РДТТ

*О.С. Чмуленко, В.Г. Корольов, В.М. Льяной, Ю.О. Лях*

Відображено досвід нанесення теплозахисних покриттів (ТЗП) на внутрішню поверхню корпусів спеціальних малогабаритних двигунів твердого палива. При цьому в процесі вибору матеріалів ТЗП і технологічної схеми їх нанесення враховувались особливості конструктивної схеми двигунів, найважливішими з яких становлять габарити виробу, вид заряду, час роботи на основному режимі, схеми горіння і інші. На прикладі двох типових конструкцій твердопаливних двигунів з моноблочним міцноскріпленням зарядом торцевого горіння і вкладним багатозашковим зарядом усестороннього горіння описані технологічні схеми нанесення ТЗП із принципово різних матеріалів – рідкозаливного матеріалу і порошкової суміші на основі фенольного сполучуючого з карбідо-кремнієвим наповнювачем.

**Ключові слова:** двигун, РДТТ, теплозахисні покриття, технологія нанесення, матеріали, тверде ракетне паливо, двигун гальмування.

### TO A QUESTION ON FEATURES OF A CHOICE OF MATERIALS AND TECHNOLOGICAL SCHEMA OF DRAWING HEAT-SHIELDING COATINGS ON AN INTERNAL SURFACE BODIES SPECIAL SMALL-SIZED THE MISSILE MOTOR ENGINE OF SOLID COMBUSTIBLE

*A.S. Chmulenko, V.G. Korolyov, V.N. Lnianoy, J.A. Lyakh*

The expertise of drawing of heat-shielding coatings on an internal surface of bodies of special small-sized motor engines of solid combustible is mirrored. Thus during a choice of materials heat-shielding coating and technological schema of their drawing the features of the design schema of motor engines were allowed, major of which one are the overall dimensions of an article, aspect of a charge, burn-time on the basic condition, the schemas of combustion etc. On an example of two sample constructions of solid-fuel motor engines with single-block strongly fastened by a charge of face combustion and are depicted by supplementary it is a lot of sword by a charge of comprehensive combustion the technological schemas of drawing heat-shielding coating from principally distinguished materials – fluid potting of a material and powdered mixture on the basis of phenolic connecting with carbide-silicon filling agent.

**Key words:** the motor engine, the missile motor engine of solid combustible, heat-shielding coating, know-how of drawing, materials, solid missile combustible, motor engine of braking.

**Чмуленко Александр Сергеевич** – инженер-конструктор Государственного предприятия «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля», Днепропетровск, Украина.

**Королев Владимир Георгиевич** – начальник отдела Государственного предприятия «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля», Днепропетровск, Украина.

**Льяной Виталий Николаевич** – канд. техн. наук, ведущий специалист Государственного предприятия «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля», Днепропетровск, Украина.

**Лях Юрий Алексеевич** – начальник группы Государственного предприятия «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля», Днепропетровск, Украина, e-mail: jurassic@multinet.dp.ua.