

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

В работе рассмотрены конструктивно-технологические решения при изготовлении внутреннего теплозащитного покрытия корпуса ракетного двигателя твердого топлива. Представлены способ формования внутреннего теплозащитного покрытия днищ, конструкция компенсационного пакета, основные технологические операции изготовления внутреннего теплозащитного покрытия корпуса ракетного двигателя. Приведенная технология формования внутреннего теплозащитного покрытия позволяет изготавливать корпуса ракетных двигателей со стабильными геометрическими параметрами, а также повысить герметичность и эрозионностойкость конструкции. [dx.doi.org/10.29010/082.1]

Ключевые слова: ракетный двигатель твердого топлива; внутреннее теплозащитное покрытие; корпус типа «кокон»; средства технологического оснащения.

Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» имени М.К. Янгеля» на протяжении многих лет разрабатывает и осваивает ракетно-космические комплексы, в основе которых заложены передовые технологии и использование современных материалов.

Одними из наиболее распространенных и сложных конструкций ракетно-космической техники из полимерных композиционных материалов являются двигатели твердого топлива (конструкции типа «кокон»).

В настоящее время к современным конструкциям ракетных двигателей твердого топлива предъявляются высокие требования по точности выходных геометрических параметров и стабильности прочностных характеристик. Кроме того корпус ракетных двигателей должны выдерживать воздействия высокотемпературной газовой среды и воздействия температурных деформаций, обусловленных различными значениями коэффициентов термического расширения материалов конструкции и топлива. Поэтому при создании корпусов ракетных двигателей твердого топлива одной из основных задач является разработка их внутреннего теплозащитного покрытия [1–2].

Внутренние теплозащитные покрытия современных ракетных двигателей представляют собой многослойные конструкции с закладными элементами, манжетами, воротниками, компенсаторами и др. При изготовлении ракетного двигателя твердо-

го топлива особое внимание уделяется технологии формования теплозащитного покрытия днищ, поскольку они являются наиболее теплонапряженными участками внутренней поверхности корпуса. В связи с этим изготовление теплозащитного покрытия днищ проводили отдельно от цилиндрической части корпуса с последующей установкой на оправку и намоткой силовой оболочки.

Формование днищ проводили на оправке (пуансон), на которую послойно выкладывали слои: защитно-крепящий из полотна высокоэластичного полиамидного и герметизирующий (основной) из каландрованной резиновой смеси на основе этиленпропиленового каучука. В процессе выкладки теплозащитного покрытия устанавливали предварительно подформованные, но не отвержденные замковые части манжет, компенсаторы и закладные элементы. Форма для выкладки определяет внутреннюю поверхность теплозащитного покрытия, которая соответствует форме оправки для намотки силовой оболочки корпуса с учетом усадок (рис. 1).

По существующей технологии [3–7] изготовление теплозащитного покрытия днищ проводят преимущественно полувулканизацией. Довулканизация реализуется последующей термообработкой в составе корпуса и совмещается с полимеризацией силовой оболочки. Такой прерывистый режим не гарантирует полной вулканизации теплозащитного покрытия днищ и приводит к снижению эрозионностойкости,



Рис. 1. Внутреннее теплозащитное покрытие днища

герметичности и нестабильности геометрических параметров конструкции, и как следствие, деформации или разрушению силовой оболочки корпуса ракетного двигателя твердого топлива.

С целью устранения существующих недостатков, впервые разработана технология изготовления внутреннего теплозащитного покрытия днищ с полной вулканизацией в прессе. Однако при изготовлении корпуса ракетного двигателя применение вулканизированного теплозащитного покрытия днищ с последующим формованием теплозащитного покрытия цилиндрической части и намоткой силовой оболочки имеет определенные риски. Поскольку изготовление корпуса проводили на алюминиевой оправке с дальнейшим отверждением силовой оболочки, при нагреве наблюдается расширение материалов, коэффициенты линейного термического расширения которых различны и составляют для алюминия $\sim 22 \cdot 10^{-6} \text{C}^{-1}$, углепластика $\sim 0,8 \cdot 10^{-6} \text{C}^{-1}$, резины на основе этиленпропиленового каучука $\sim 95 \cdot 10^{-6} \text{C}^{-1}$.

В результате нагрева алюминиевая оправка удлиняется, расширяется и подобно поршню передает давление на вулканизированное теплозащитное покрытие днищ, а оно в свою очередь передает давление на силовую оболочку корпуса, что при изго-

товлении приводит к скрытому дефекту или разрушению. Для компенсации давления, которое оправка передает на теплозащитное покрытие днищ предусмотрено введение в конструкцию компенсационного пакета, который представляет собой совокупность чередующихся слоев полотна высокоэластичного полиамидного и сырой каландрованной резиновой смеси на основе этиленпропиленового каучука, ограниченной разделительной пленкой (рис. 2).

При проведении полимеризации силовой оболочки корпуса оправка передает давление на компенсационный пакет, в котором сырая каландрованная резиновая смесь проникает в структуру полотна высокоэластичного полиамидного, тем самым компенсируя давление на теплозащитное покрытие днищ [8].

Разработанная и усовершенствованная технология изготовления внутреннего теплозащитного покрытия корпуса ракетного двигателя твердого топлива представляет формирование теплозащитного покрытия на оправке для намотки силовой оболочки корпуса, которая состоит из алюминиевого (АМг 6) полого вала-основы, имеющего специально обработанные посадочные поверхности, на которые базируются формообразующие карты. Карты крепятся изнутри вала при помощи специальных фиксирующих болтов. Такая конструкция обеспечивает создание формообразующей поверхности для изготовления на ней внутреннего теплозащитного покрытия, последующей намотки и полимеризации силовой оболочки корпуса (рис. 3) [9].

На цилиндрическую часть оправки последовательно устанавливали технологический чехол из полотна высокоэластичного полиамидного для предохранения ее от механических повреждений, на донную часть наносили компенсационный пакет. Далее устанавливали вулканизированное теплозащитное покрытие днищ. Методом ручной выкладки формовали теплозащитное покрытие цилиндрической части корпуса до получения требуемой толщи-

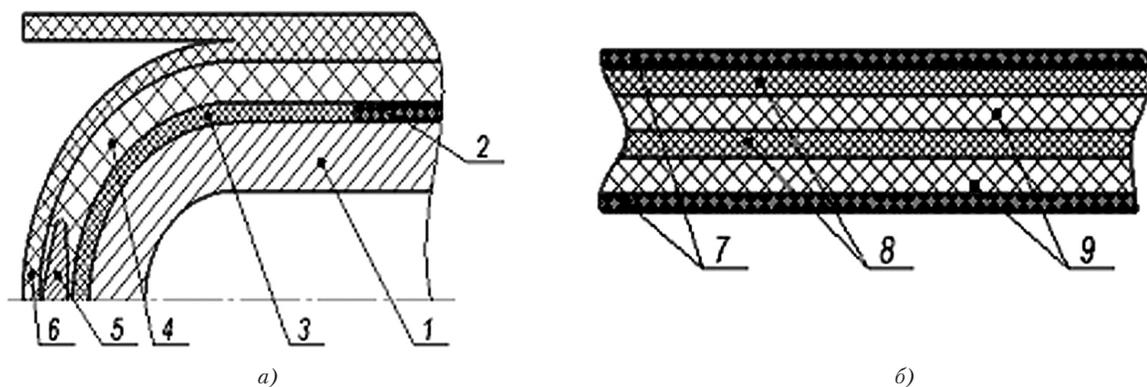


Рис. 2. Вид внутреннего теплозащитного покрытия:

- а) внутреннее теплозащитное покрытие с компенсационным пакетом: 1 – оправка, 2 – теплозащитное покрытие цилиндрической части корпуса, 3 – компенсационный пакет, 4 – ТЗП днищ, 5 – закладной элемент (фланец), 6 – силовая оболочка;
 б) компенсационный пакет: 7 – разделительная пленка, 8 – сырая каландрованная резиновая смесь 1001, 9 – ткань ПВП-У

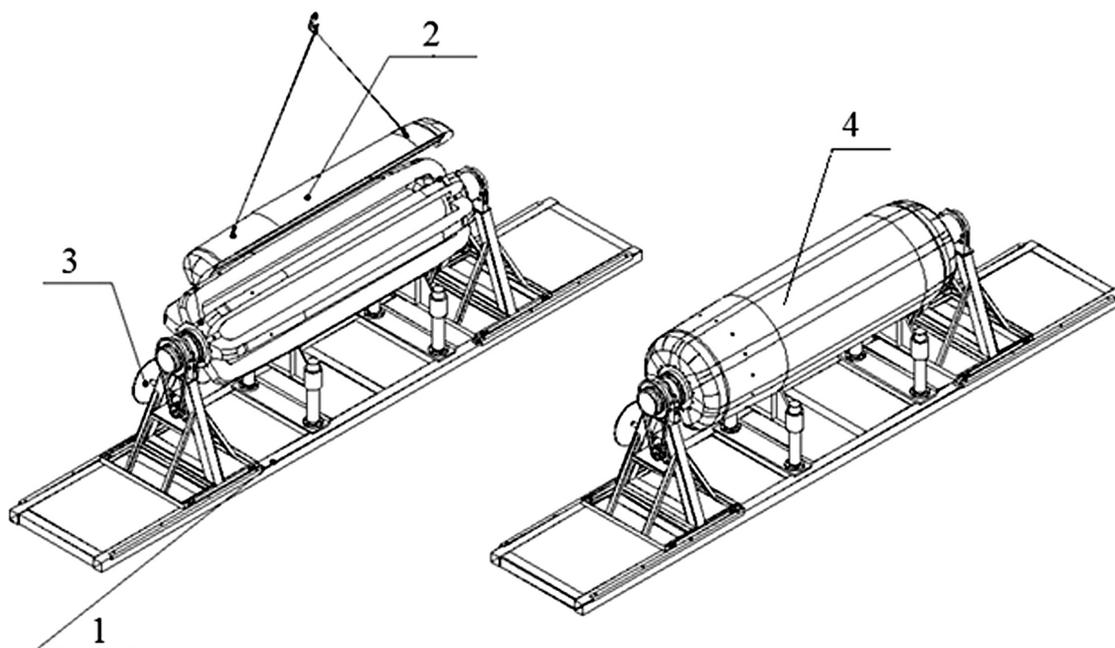


Рис. 3. Оправка для изготовления корпуса ракетного двигателя твердого топлива из ПКМ:
1 – стпель сборки; 2 – карта; 3 – маховик; 4 – оправка в сборе

ны. Изготовление силовой оболочки корпуса ракетного двигателя твердого топлива проводили путем программной укладки углеродного волокна пропитанного связующим на поверхность внутреннего теплозащитного покрытия (Рис. 4) [10].

В результате проведенной работы предложены конструктивно-технологические решения, позволяющие обеспечить полную вулканизацию теплозащитного покрытия днищ, компенсировать термические расширения материалов при изготовлении ракетного двигателя твердого топлива и изготавливать корпуса со стабильными геометрическими параметрами, а также повысить их герметичность и эрозионностойкость конструкции в целом.

Литература

- [1] Буланов И.М., Воробей В.В. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов [Текст]: учеб. для вузов / И.М. Буланов, В.В. Воробей. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998 г. – 516 с.
- [2] Санин Ф.П., Кучма Л.Д., Джур Е.А., Санин А.Ф. Тврдотопливные ракетные двигатели. Материалы и технологии [Текст] : учеб. пособие / Ф.П. Санин, Л.Д. Кучма, Е.А. Джур, А.Ф. Санин. – Днепропетровск: Изд-во Днепропетр. ун-та, 1999. – 320 с.
- [3] Способ изготовления внутреннего теплозащитного покрытия корпуса ракетного двигателя [Текст]: патент



Рис. 4. Намотка силовой оболочки корпуса ракетного двигателя твердого топлива

- 2492340 Российская Федерация: F02K9/34, Лузина И.В., Шайдурова Г.И., Лобковский С.А. / Владельцы патента: Открытое акционерное общество Научно-производственное объединение «Искра» – ил.
- [4] Патент РФ № 2014107590/06, 27.02.2014. Нестеров Б.А., Ворожцов К.В., Вотинов Д.И., Гизатулина З.К., Борисова А.П. Способ изготовления внутреннего теплозащитного покрытия с тканевым защитно-крепящим слоем корпуса ракетного двигателя твердого топлива. // Патент России № 2554683 С1.2014. Бюл. 25.
- [5] Патент РФ № 2527224/06, 11.06.13. Шайдурова Г.И., Лобковский С.А., Нестеров Б.А., Ощепкова М.Ю., Кустов М.А. Способ образования теплозащитного покрытия для камеры сгорания твердотопливного ракетного двигателя // Патент России № 25272224 С1.2013. Бюл. 24 27.08.14.
- [6] Патент РФ № 2013126829/06, 11.06.2013. Шайдурова Г.И., Лобковский С.А., Нестеров Б.А., Ощепкова М.Ю., Кустов М.А. Способ образования теплозащитного покрытия для камеры сгорания твердотопливного ракетного двигателя.
- [7] К.В. Козис. Технологические особенности изготовления внутреннего теплозащитного покрытия для ракетных твердотопливных двигателей / К.В. Козис, Т.А. Манько, А.М. Потапов // Механика гіроскопічних систем: науково-технічний збірник Київського політехнічного інституту. – Вып.30 – Київ. – 2015. – С.49–53.
- [8] Козис К.В. Обработка технологии изготовления внутреннего теплозащитного покрытия переднего и заднего днищ корпуса ракетного двигателя твердого топлива // Людина і космос: XVII Міжнародна молодіжна науково-практична конференція, 08–10 квітня 2015 р.: збірник тез. – Дніпропетровськ. – 2015. – С. 282.
- [9] Пат. Украины, МПК В29С 53/82. Разборная оправка для изготовления высокопрочных оболочек из композиционных материалов [Текст] / А.М. Потапов, В.А. Коваленко, Е.В. Шилина, С.А. Шилин, А.И. Мищенко, С.В. Федоренко, А.А. Малахов; патентообладатель ГП «КБ «Южное». – № 106192; заявл. 10.08.15; опубл. 25.04.16, Бюл. № 8. – 3 с.: ил.
- [10] Шилина Е.В. Создание технологического оснащения для изготовления корпусов типа «кокон» [Текст] / Е.В. Шилина, С.А. Шилин, А.М. Потапов, А.Ф. Санин // Вісник Дніпропетровського університету. Серія: ракетно-космічна техніка. Том 1, випуск 19 – 2015. – с. 186–191.

Kozis K. V.¹, Manko T. A.², Potapov O. M.¹

¹ Yuzhnoye, State-owned Design Office named after M. K. Yangel. Ukraine, Dnipro

² Oles Honchar Dnipro National University. Ukraine, Dnipro

CONSTRUCTIVE-TECHNOLOGICAL DECISIONS WHILE PRODUCING THERMAL PROTECTIVE COATING FOR THE SOLID PROPELLANT ROCKET MOTOR

In the work were studied constructive-technological decisions while producing thermal protective coating for the body of the solid propellant rocket motor. In the work there are presented the variant of inside thermal protective coating of bottom, the construction of indemnity packet the main technological operations for making inside thermal protective coating of the body of the solid propellant rocket motor. The improved technology of making the inside thermal protective coating allows to produce rocket motor bodies coating with stable geometrical and also make better their hermetic state and erosion protection. [dx.doi.org/10.29010/082.1]

Keywords: solid propellant rocket engine; internal thermal insulation covering; «cocoon» type case; support equipment.

References

- [1] Bulanov I.M., Vorobey V.V. Tekhnologiya raketnykh i aerokosmicheskikh konstruksiy iz kompozitsionnykh materialov [Tekst]: ucheb. dlya vuzov / I.M. Bulanov, V.V. Vorobey. – M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Baulana, 1998 g. – 516 s.
- [2] Sanin F.P., Kuchma L.D., Dzhur Ye.A., Sanin A.F. Tverdotoplivnyye raketnyye dvigateli. Materialy i tekhnologii [Tekst]: ucheb. posobiye / F.P. Sanin, L.D. Kuchma, Ye.A. Dzhur, A.F. Sanin. – Dnepropetrovsk: Izd-vo Dnepropetr. un-ta, 1999. – 320 s.

- [3] Sposob izgotovleniya vnutrennego teplozashitnogo pokritiya korpusa raketnogo dvigatelya [Tekst]: patent 2492340 RF : F02K9/34, Luzina I.V., Shaydurova G.I., Lobkovskiy S.A. / Vladelei patenta: Otkritoe akcionerное obshestvo Nauchno-proizvodstvennoe ob'ednenie «Iskra» — il.
- [4] Patent RF № 2014107590/06, 27.02.2014. Nesterov B.A., Vorogcov K.V., Votinov D.I., Gizatulina Z.K., Borisova A.P. Sposob izgotovleniya vnutrennego teplozashitnogo pokritiya s tkanevim zashitno-krepyashim sloem korpusa raketnogo dvigatelya // Patent RF № 2554683 C1.2014. Bul. 25
- [5] Patent RF № 2527224/06, 11.06.13. Shaydurova G.I., Lobkovskiy S.A., Nesterov B.A., Oshepkova M.U., Kustov M.A. Sposob obrazovaniya teplozashitnogo pokritiya dlya kameri sgoraniya tverdotoplivnogo raketnogo dvigatelya // Patent RF № 2527224 C1.2013. Bul. 24 27.08.14.
- [6] Patent RF № 2013126829/06, 11.06.2013. Shaydurova G.I., Lobkovskiy S.A., Nesterov B.A., Oshepkova M.U., Kustov M.A. Sposob obrazovaniya teplozashitnogo pokritiya dlya kameri sgoraniya tverdotoplivnogo raketnogo dvigatelya.
- [7] K.V. Kozis. Tehnologicheskie osobennosti izgotovleniya vnutrennego teplozashitnogo pokritiya dlya raketnih tverdotoplivnih dvigateley / K.V. Kozis, T.A. Manko, A.M. Potapov // Mehanika giroskopichnih sistem: naukovо-tehnichniy zbirnik KPI. — Vip. 30 — Kiyv. — 2015. s. 49—53.
- [8] Kozis K.V. Otrabotka tehnologii izgotovleniya vnutrennego teplozashitnogo pokritiya perednego i zadnego dnish korpusa raketnogo dvigatelya tverdogo topliva [Tekst] / K.V. Kozis // XVII Mezhdunarodnaya molodezhnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Chelovek i kosmos»: Sbornik tezisov. Dnepropetrovsk — 2015. — s. 282.
- [9] Pat. Ukrainy, MPK V29S 53/82. Razbornaya opravka dlya izgotovleniya vysokoprochnykh obolochek iz kompozitsionnykh materialov [Tekst] / A.M. Potapov, V.A. Kovalenko, K.V. Shylina, S.A. Shylin, A.I. Mishchenko, S.V. Fedorenko, A.A. Malakhov; patentoobadatel' GP «KB «Yuzhnoye». — № 106192; zayavl. 10.08.15; opubl. 25.04.16, Byul. № 8. — 3 s.: il
- [10] Shylina K.V. Sozdaniye tekhnologicheskogo osnashcheniya dlya izgotovleniya korpusov tipa «kokon» [Tekst] / K.V. Shylina, S.A. Shylin, A.M. Potapov, A.F. Sanin // Vіsnik Dnіpropeetrovs'kogo unіversitetu. Seriya: raketno-kosmichna tekhnika. Tom 1, vypusk 19 — 2015. — s. 186—191