DOI: 10.15593/2224-9982/2015.40.10

УДК 629.7.023.222

Б.А. Нестеров, К.В. Ворожцов

ПАО «Научно-производственное объединение „Искра“», Пермь, Россия

**ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВНУТРЕННЕГО
ТЕПЛОЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ С ТКАНЕВЫМ ЗАЩИТНО-
КРЕПЯЩИМ СЛОЕМ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КОРПУСА
РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА**

Впервые использовался способ, практическое применение которого подтвердило высокую технологичность изготовления внутреннего теплозащитного покрытия (ТЗП) корпуса ракетного двигателя твердого топлива с тканевым защитно-крепящим слоем (ЗКС) с использованием универсального оборудования. Проведен анализ различных вариантов изготовления ТЗП корпуса с ЗКС из капрона. Разработана технология изготовления модельных образцов, решена задача оптимизации технологии. Подготовлены исходные данные для лабораторных исследований с последующим анализом результатов и выбором оптимального варианта подготовки капрона. Выбран оптимальный вариант изготовления, обеспечивающий требуемое качество внутренней поверхности корпуса. Разработана технологическая инструкция на изготовление внутреннего ТЗП металлического корпуса с тканевым ЗКС.

Предложенная технология позволяет изготавливать внутреннее ТЗП металлического корпуса малого диаметра с удлиненной цилиндрической частью без образования складок капрона и оголения резины, что гарантирует требуемое качество внутренней поверхности корпуса, а также снижает трудоемкость и стоимость изготовления изделия. По данной технологии изготовлено 13 корпусов и успешно проведены два стендовых испытания.

Ключевые слова: тканевый защитно-крепящий слой, металлический корпус, малый диаметр, удлиненная цилиндрическая часть, универсальное оборудование, оправка, чехол ЗКС, разделительный чехол, обжимная оболочка, модельный образец.

B.A. Nesterov, K.V. Vorozhtsov

PJSC “Research and Production Association ISKRA”,
Perm, Russian Federation

**MANUFACTURING TECHNOLOGY OF INTERNAL
HEAT PROTECTION COATING WITH FABRIC LINER
OF METAL CASE OF SOLID ROCKET MOTOR**

The paper considers method which has confirmation of high manufacturing technology of internal heat protection coating with fabric liner of solid rocket motor case by practical application with using general-purpose equipment. The analysis of variants of insulator manufacturing with liner of kapron is performed. The manufacturing technology for specimens is developed and optimization problem of the technology is solved. The initial data for laboratory research to choose optimal variant of kapron is pre-

pared. The optimal variants of manufacturing for ensuring needed quality of case internal surface is chosen. Manufacturing specification for inner insulator of metal case with fabric liner is developed.

Proposed technology allows produce inner insulator of small-diameter metal case with longish cylindrical section without corrugation of kapron and exposure of rubber. It is ensuring needed quality of case internal surface and lower laboriousness and production cost. The technology has produced 13 cases and 2 rig tests have been successfully performed.

Keywords: fabric liner, metal case, small diameter, longish cylindrical section, general-purpose equipment, fixture, cover for liner, separating cover, envelope for clamping, specimen.

В настоящее время отрабатывают технологию изготовления ряда корпусов ракетных двигателей, объединенных некоторыми однотипными конструктивными решениями, среди которых наличие внутреннего теплозащитного покрытия (ТЗП) из резиновой смеси 51-1615 переменной толщины с раскрепляющими манжетами, прочноскрепленного с силовой оболочкой корпуса с удлиненной цилиндрической частью и малыми диаметрами горловин [1, 2]. Изготовление ТЗП с заданными геометрическими характеристиками само по себе является сложной технологической задачей, а для рассматриваемой конструкции корпуса эта задача усложняется наличием тканевого защитно-крепящего слоя (ЗКС).

На рис. 1 изображена схема металлического корпуса с внутренним покрытием.

Рис. 1. Схема металлического корпуса с внутренним ТЗП: 1 – корпус; 2 – резина 51-1615; 3 – ткань капроновая (арт. 56151)

Необходимым условием является выполнение требований по качеству внутренней поверхности корпуса и повышенной величине адгезионного скрепления на границе ЗКС – наполнитель, при этом возможность доработки поверхности по сравнению с безтканевыми ЗКС существенно ограничена. Всё это позволяет говорить о необходимости

рассмотрения и использования способа, который бы обеспечивал требуемое качество ЗКС применительно к данной конструкции корпуса [3, 4].

Известен способ изготовления теплозащитного покрытия с тканевым защитно-крепящим слоем, включающий укладку на оправку для выкладки разделительных и предохранительных слоев материала ЗКС и затем послойно различных раскроев резин до получения заданных толщин, укладку дренажных слоев и вакуумного мешка (резиновой диафрагмы). Оправка определяет внутренний профиль защитно-крепящего слоя¹ [5, 6].

Данный способ изготовления защитно-крепящего слоя, подразумевающий изготовление и установку ЗКС по частям (раздельно ЗКС днищ и ЗКС центральной части), не гарантирует требуемое качество внутренней поверхности корпуса. Раздельное изготовление ЗКС днищ и центральной части требует их стыковки (сшивки) внутри корпуса, что при большом удлинении корпуса весьма затруднительно. Кроме того, во время установки обжимной оболочки в корпус и в процессе режима вулканизации корпуса возможно образование складок ЗКС, а также смещения ЗКС, что приводит к оголению резины с последующим проведением ремонта внутренней поверхности корпуса² [7]. При невозможности ремонта необходимо полное снятие покрытия и нанесение нового. Таким образом, данный способ существенно увеличивает трудоемкость, а следовательно, и стоимость изготовления изделия.

Известен способ нанесения эластичного покрытия на внутреннюю поверхность корпуса³, включающий предварительное изготовление теплозащитного покрытия в виде эластичной оболочки, выворачивание наизнанку эластичной оболочки, герметичное скрепление одного конца оболочки с концом корпуса, герметичное заглушение второго конца оболочки, установление внутрь вывернутой наизнанку оболочки цилиндрического элемента и скрепление его с заглушенным концом оболочки, вакуумирование полости, образованной внутренней поверхностью корпуса, поверхностью эластичной оболочки и цилиндрическим элементом, с установкой на корпус приспособления (емкости),

¹ Пат. US № 4711086, кл. F 02 К 9/00; 1987.

² Способ защиты внутренней поверхности корпуса ракетного двигателя: пат. 2243401 РФ / Н.А. Макаровец, Г.А. Денежкин, Р.А. Кобылин [и др.]; 2004.

³ Способ нанесения эластичного покрытия на внутреннюю поверхность корпуса: пат. 2256813 РФ / Ю.Л. Саков, Г.А. Зыков, А.Н. Кремлев [и др.]; 2005.

для создания дополнительного давления, выворачивание при этом эластичной оболочки внутрь корпуса с протягиванием цилиндрического элемента вдоль корпуса.

Недостатком данного способа является большая трудоемкость изготовления с использованием большого перечня элементов приспособления для выворачивания эластичной оболочки. Кроме того, непригодность данного способа заключается в том, что способ с выворачиванием оболочки рассчитан только на использование оболочки типа «Труба». В случаях использования другой конструкции оболочки (например, разнотолщинной или со сферическими днищами) данный способ неприменим.

Для обеспечения требуемого качества изготовления внутреннего теплозащитного покрытия с тканевым защитно-крепящим слоем была использована технология поочередной установки чехлов на обжимную оболочку. Данный способ, включающий изготовление чехла ЗКС 2, размещение его на обжимной оболочке 1 через разделительный чехол 3 (рис. 2) и установку оболочки с чехлами в корпус, был опробован на модельных образцах. Результаты опробования подтвердили правильность принятых решений, после чего была проведена оптимизация технологии.

Рис. 2. Схема размещения чехлов на обжимной оболочке: 1 – обжимная оболочка; 2 – чехол ЗКС; 3 – разделительный чехол

На рис. 3 изображена схема модельного образца с ЗКС.

На основе описанного способа была разработана и внедрена новая технология изготовления внутреннего ТЗП с тканевым ЗКС для металлических корпусов малого диаметра с удлиненной цилиндрической частью.

Рис. 3. Схема модельного образца с ЗКС: 1 – корпус; 2 – теплозащитное покрытие; 3 – защитно-крепящий слой

Новизна предлагаемого способа заключается в изготовлении и установке тканевого ЗКС в корпус с применением универсального оборудования. В качестве оборудования использовался стенд для обратного формования ТЗП с предварительно установленной сменной оправкой (рис. 4).

Рис. 4. Стенд для обратного формования ТЗП (вид сбоку и сверху)

На рис. 5 изображена схема установки на оправку обжимной оболочки, разделительного чехла и чехла ЗКС.

Рис. 5. Схема установки на оправку обжимной оболочки, разделительного чехла и чехла ЗКС: 1 – обжимная оболочка; 2 – разделительный чехол; 3 – чехол ЗКС; 4 – оправка; 5 – фланцы; 6 – прижимное кольцо

На оправку 4 в горизонтальном положении устанавливают обжимную оболочку 1. При помощи поворотного механизма оправку 4 устанавливают в вертикальное положение, натягивают и закрепляют обжимную оболочку 1 при помощи фланцев 5 и прижимного кольца 6. Поочередно устанавливают на оболочку 1 предварительно изготовленные путем сшивания заготовок разделительный чехол 2 и чехол ЗКС 3 из капроновой ткани (арт. 56151) без складок и гофр, натягивают и закрепляют чехлы алюминиевой лентой к оболочке 1. Подготовка капроновой ткани осуществляется без замачивания и сушки.

Далее вводят собранную оправку 5 в металлический корпус 1 (рис. 6), передвигая тележку с корпусом 1 в направлении оправки с помощью ручного привода тележки и центрируя положение корпуса 1 относительно оправки 5. Далее устанавливают на формующее кольцо 7 крышку переднюю 8, скрепляют собранную конструкцию оправки 5 с корпусом 1 при помощи установленного в пазы корпуса кольца 9.

С помощью пневмопульты стенда последовательно создают разряжение в корпусе 1, а затем давление в полости обжимной оболочки 2, за счет чего обжимная оболочка 2 расправляется и ЗКС 4 без складок и гофр плотно прижимается к покрытию 6. Граница между резиновым покрытием 6 и тканевым ЗКС 4 – бесклеевая.

Рис. 6. Схема корпуса с установленными обжимной оболочкой, разделительным и ЗКС чехлами: 1 – корпус; 2 – обжимная оболочка; 3 – разделительный чехол; 4 – чехол ЗКС; 5 – оправка; 6 – теплозащитное покрытие; 7 – формирующее кольцо; 8 – крышка передняя; 9 – кольцо

Далее сбрасывают давление и производят демонтаж оправки 5, после чего устанавливают крышку заднюю, закрепив к фланцу. Вулканизацию покрытия производят в полимеризационной печи, оборудованной гидровакуумной системой. После окончания вулканизации и охлаждения корпуса 1 с ТЗП удаляют из него разделительный чехол 3 и обжимную оболочку 2, открывают отверстие в ЗКС 4 по контуру передней горловины корпуса 1.

Практическое применение подтвердило высокую технологичность предлагаемого способа изготовления внутреннего ТЗП корпуса РДТТ с тканевым ЗКС, что свидетельствует о возможности совершенствования технологии изготовления ТЗП с использованием универсального оборудования.

Предложенная технология позволяет изготавливать внутреннее ТЗП, например металлического корпуса малого диаметра с удлиненной цилиндрической частью без образования складок капрона и оголения резины, что гарантирует требуемое качество внутренней поверхности корпуса, а также снижает трудоемкость и стоимость изготовления изделия.

Библиографический список

1. Фахрутдинов И.Х., Котельников А.В. Конструкция и проектирование ракетных двигателей твердого топлива. – М.: Машиностроение, 1987. – 328 с.
2. Конструкция и отработка РДТТ / А.М. Винницкий, В.Т. Волков, И.Т. Волковицкий, С.В. Холодилов. – М.: Машиностроение, 1980. – 231 с.

3. Дубинкер Ю.Б., Донской А.А. Эластомерные теплозащитные материалы. Обзор / Всерос. ин-т авиац. материалов. – М., 1969.

4. Трофимов А.А., Гейнрих Н.И. Технология нанесения теплозащитного покрытия на малоразмерные конические модели для испытаний в высокотемпературной аэродинамической трубе // Вестник Юж.-Урал. гос. ун-та. Машиностроение. – 2011. – № 31(258). – С. 76–80.

5. Воробей В.В., Маркин В.Б. Основы технологии и проектирование корпусов ракетных двигателей. – Новосибирск: Наука, 2003. – 164 с.

6. Буланов И.М., Воробей В.В. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. – 516 с.

7. Генель С.В., Белый В.А., Булгаков В.Я. Применение полимерных материалов в качестве покрытий. – М.: Химия, 1968. – 238 с.

References

1. Fakhrutdinov I.Kh., Kotelnikov A.V. Konstruktsiya i proektirovanie raketnykh dvigateley tverdogo topliva [Construction and design of solid rocket motors]. Moscow: Mashinostroenie, 1987. 328 p.

2. Vinitskiy A.M., Volkov V.T., Volkovitskiy I.T., Kholodilov S.V. Konstruktsiya i otrabotka RDTT [Construction and try out of solid rocket motors]. Moscow: Mashinostroenie, 1980. 231 p.

3. Dubinker Yu.B., Donskoy A.A. Elastomernye teplozashchitnye materialy. Obzor [Elastomeric heat-protective material]. Moscow: Vserossiyskiy institut aviatsionnykh materialov, 1969.

4. Trofimov A.A., Geynrikh N.I. Tekhnologiya naneseniya teplozashchitnogo pokrytiya na malorazmernye konicheskie modeli dlya ispytaniy v vysokotemperaturnoy aerodinamicheskoy trube [Technology of covering the thermal protection coating on low-sized conical model for try out in high-temperature wind tunnel]. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Mashinostroenie*, 2011, no. 31(258), pp. 76-80.

5. Vorobey V.V., Markin V.B. Osnovy tekhnologii i proektirovanie korpusov raketnykh dvigateley [Manufacturing science and design rocket motor case]. Novosibirsk: Nauka, 2003. 164 p.

6. Bulanov I.M., Vorobey V.V. Tekhnologiya raketnykh i aerokosmicheskikh konstruktsiy iz kompozitsionnykh materialov [Technology of rocket constructions of composite materials]. *Moskovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet imeni N.E. Baumana*, 1998. 516 p.

7. Genel S.V., Belyy V.A., Bulgakov V.Ya. *Primenenie polimernykh materialov v kachestve pokrytiy* [Application of polymeric material as a coating]. Moscow: Khimiya, 1968. 238 p.

Об авторах

Нестеров Борис Анатольевич (Пермь, Россия) – начальник сектора ПАО НПО «Искра» (614038, г. Пермь, ул. Академика Веденеева, д. 28, e-mail: nba720@iskra.perm.ru).

Ворожцов Константин Владимирович (Пермь, Россия) – руководитель группы ПАО НПО «Искра» (614038, г. Пермь, ул. Академика Веденеева, д. 28, e-mail: vkv720@iskra.perm.ru).

About the authors

Boris A. Nesterov (Perm, Russian Federation) – Head of Section of PJSC “Research and Production Association ISKRA” (28, Akademika Vedeneeva st., Perm, 614038, Russian Federation, e-mail: nba720@iskra.perm.ru).

Konstantin V. Vorozhtsov (Perm, Russian Federation) – Team Leader of PJSC “Research and Production Association ISKRA” (28, Akademika Vedeneeva st., Perm, 614038, Russian Federation, e-mail: vkv720@iskra.perm.ru).

Получено 16.01.2015