

doi: <https://doi.org/10.15407/knit2017.06.046>

УДК 621.454.038.7:678.078

М. С. Хорольский¹, С. П. Лавриненко², А. М. Потапов³, К. В. Козис³

¹ Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара, Днепропетровск, Украина

² Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский конструкторско-технологический институт эластомерных материалов и изделий», Днепропетровск, Украина

³ Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» имени М. К. Янгеля», Днепропетровск, Украина

ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ НАДЕЖНЫХ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ РДТТ НА ОСНОВЕ ЭЛАСТОМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Приведены результаты исследований технических характеристик нового эластомерного материала для внутреннего теплозащитного покрытия ракетных двигателей на твердом топливе. Проведены работы по подбору экспериментальным путем оптимального усилия прессования для получения образцов эластомерного композиционного материала с необходимой степенью пробивки армирующей ткани.

Ключевые слова: внутреннее теплозащитное покрытие, эластомер, каучук, резина, ткань капроновая эластичная техническая, твердое топливо, ракетный двигатель на твердом топливе.

В отличие от жидкостного ракетного двигателя, в камеру сгорания которого топливо подается постепенно турбонасосным агрегатом, в ракетном двигателе на твердом топливе (РДТТ) весь его запас размещается в виде заряда в силовом корпусе, объем которой по существу и является камерой сгорания. После воспламенения весь заряд находится во власти нерегулируемого огня с высокой температурой, оказывающего значительное влияние на элементы конструкции РДТТ. Поэтому необходимо конструктивным путем предусмотреть их тепловую защиту внутренним теплозащитным покрытием (ТЗП).

Внутренние теплозащитные покрытия корпусов ракетных двигателей на твердом топливе должны обладать следующими основными свойствами: низкой температуропроводностью и плот-

ностью, достаточной эластичностью, высокой прочностью при растяжении, высокой адгезией к материалу корпуса и заряду твердого топлива, высокой теплотой разложения, стойкостью к эрозионному воздействию продуктов сгорания, стабильностью свойств в процессе гарантийного срока хранения и др. Следует также отметить, что ТЗП в процессе хранения не должно оказывать негативного влияния на технические характеристики материала корпуса и физико-химические свойства твердого топлива.

Корпус РДТТ является несущей конструкцией, т. е. кроме высокой прочности на растяжение он должен иметь достаточную продольную устойчивость. В современных РДТТ жидкостное охлаждение отсутствует, поэтому элементы конструкции корпуса подвергаются воздействию теплового потока при горении топлив с температурой горения порядка 3500 °С. С повышением

© М. С. ХОРОЛЬСКИЙ, С. П. ЛАВРИНЕНКО, А. М. ПОТАПОВ, К. В. КОЗИС, 2017

температуры технические характеристики материала корпуса значительно снижаются, следовательно ухудшаются эксплуатационные характеристики всего корпуса. Поэтому для корпуса РДТТ требуется тепловая защита.

Одним из направлений такой тепловой защиты может быть композиционное покрытие на основе эластомерного материала из синтетического каучука и капроновой технической ткани специального плетения. Резиновая смесь определенного состава должна хорошо совмещаться с силовым элементом конструкции РДТТ с наружной стороны и с капроновой тканью специального плетения с внутренней стороны, т. е. со стороны заполнения заряда твердого топлива. Другими словами, со стороны заряда твердого топлива теплозащитное покрытие полностью или частично должно выполнять роль барьерного слоя.

Кроме того, в процессе горения твердого топлива возникают значительные температурно-силовые деформации внутри самого теплозащитного покрытия, которые не должны передаваться на силовую корпус. С этой целью необходимо по толщине теплозащитного покрытия выполнять компенсационный манжетный узел, который в процессе работы РДТТ должен раскрываться и компенсировать своим внутренним перемещением передачу температурно-силовых деформаций на корпус. Для того чтобы манжетный узел мог раскрываться, необходимо, чтобы его внутренние поверхности были выполнены из указанной ткани, через которую полностью не должна проникнуть резиновая смесь, в противном случае проникнувшие слои через ткань соединятся и образуют в процессе отверждения сплошной нераскрывающийся массив теплозащитного покрытия. Собрав на оправке таким образом теплозащитное покрытие, его можно соединять с силовым элементом конструкции. После выдержки всей конструкции при заданной температуре в течение режима отверждения, можно получить монолитную конструкцию, готовую к заполнению зарядом твердого топлива.

Следует обратить особое внимание на то, что конструкция будет работоспособной лишь в случае удовлетворительного проникновения резиновой смеси в ткань на определенную глубину, которую назовем пробивкой, зависящей от удель-

ного давления и температуры прессования, и особенностей сборки конструкции.

Целью настоящих исследований как раз и является определение оптимальных параметров пробивки разработанной резиновой смеси для теплозащитного покрытия применительно к формовому способу его изготовления взамен далеко не безопасного диафрагменного, который применялся ранее. К тому же при диафрагменном способе покрытие нуждалось в ручной доработке, так как заданная толщина покрытия технологически не обеспечивалась. Контроль его толщины можно было проверить лишь после изготовления.

Известно [1, 2], что для создания теплозащитных покрытий многими исследователями выбирались материалы на основе эластомеров, что связано с их способностью обеспечивать теплозащитные функции, обладая при этом приемлемыми технологическими свойствами. Так, в работе [1] описан теплозащитный материал на основе бутадиеннитрильного каучука, торговых марок Nipol 1052, Nipol 1042, Nipol 1312.

В работе [2] изучена сравнительная характеристика термических, механических и абляционных свойств этиленпропилендиенового каучука со следующими наполнителями: с арамидным и кварцевым волокнами и новолачной смолой марки Kylon. Во всех образцах в качестве вулканизирующего агента выступала перекись.

Используя свойства резиновой смеси проникать под определенным давлением в ячейки ткани, возможно создавать тепловой барьерный слой на границе ТЗП — заряд твердого топлива и соединительный слой на границе ТЗП — корпус РДТТ. Для этого необходимо подобрать такие параметры прессования, чтобы величина пробивки резиновой смеси через ткань была оптимальной одновременно для барьерного и соединительного слоев и манжетного узла.

Высокие адгезионные характеристики на границе ТЗП — заряд обеспечиваются за счет использования ткани капроновой эластичной технической (ТКЭТ) арт. 56151. В ТКЭТ используется специфическая структура плетения (нить капроновая эластик классического способа изготовления 5 текс × 2 — ТУ-04-50-90).

Имеется информация по применению эластомерного материала на основе сульфохлорированного полиэтилена с жидким полибутадиеном, в котором наполнителями являются полиамидная масса и белая сажа [3].

В настоящее время для внутренней теплозащиты РДТТ разработан и применен композиционный материал из резиновой смеси на основе термостойкого синтетического каучука и ткани ТКЭТ. Резиновая смесь содержит вулканизирующую группу и наполнители, свойства которой приведены в таблице, которые придают вулканизату повышенную по сравнению с другими серийными резинами термостойкость и адгезию к армирующим материалам.

Параметры пробивки исследовались при изготовлении плоских модельных образцов теплозащитного покрытия с использованием указанной резиновой смеси и ткани ТКЭТ формовым способом в пресс-форме, на которой одновременно обрабатывались некоторые особенности технологии сборки.

Учитывая то, что ткань ТКЭТ имеет специальное плетение, отличное от плетения трикотажных тканей, на первом этапе прессования резиновая смесь при определенном давлении, находясь в вязкотекучем состоянии, проникает в ячейки ткани ТКЭТ до половины их глубины и прочно с ней соединяется механическим способом в процессе вулканизации, образуя своеобразную резинотканевую конструкцию. Оставшаяся незаполненная глубина ячеек остается свободной для последующего заполнения твердым топливом, если ее использовать как барьер-

ный слой, или связующим композиционного материала корпуса РДТТ, если ее использовать как соединительный слой.

В процессе работы была определена прочность связи резины с тканью ТКЭТ при расслоении, которая составила в среднем 2.95 кгс/см^2 .

На изготовление каждого плоского резинотканевого образца уходило не более 210 г резиновой смеси. Изготовленные образцы теплозащитного покрытия со стороны ткани имели рельефную поверхность. Наличие рельефной поверхности повышает адгезию при креплении твердого ракетного топлива к поверхности внутреннего теплозащитного покрытия или в соединительном слое с материалом корпуса РДТТ.

Исследования проводились при различных давлениях прессования от 1 до 50 кгс/см^2 . В результате проведенных работ было установлено, что при низких давлениях прессования (до 5 кгс/см^2), на образцах образовывалось множество воздушных полостей различных размеров, которые не допускаются в теплозащитном покрытии, а прочность связи резины с тканью является неудовлетворительной. Резина легко отделялась от ткани ТКЭТ. Характер такой пробивки показан на рисунке (фрагмент *а*).

При давлении от 6 до 15 кгс/см^2 образцы получались монолитными, внешний вид которых показан на рисунке *б*. Воздушные полости под тканью не наблюдались. Резиновая смесь оставалась внутри ячеек и насквозь через них не проникала. Поверхность ткани оставалась достаточно рельефной, хотя была более примятой в сравнении с предыдущим вариантом. Прочность связи резины с тканью находилась на уровне более 4 кгс/см^2 .

Следует отметить, что для манжетного узла теплозащитного покрытия такой характер пробивки наиболее приемлем. Это даст возможность обеспечить ему свободное раскрытие при работе РДТТ. В противном случае необеспечение компенсации температурно-силовых деформаций может привести к катастрофическим последствиям.

На образцах теплозащитного покрытия, изготовленных при давлении от 16 и до 40 кгс/см^2 , на тканевой поверхности уже наблюдалась пробивка резины сквозь ткань ТКЭТ. И если при давлении 16 кгс/см^2 пробивка была еле заметной, то при

Значения физико-механических показателей резиновой смеси для теплозащитных покрытий

Показатель	Значения
Условная прочность при растяжении, МПа	Не менее 6.8
Относительное удлинение при разрыве, %	Не менее 360
Твердость по Шор А, у. е.	40—50
Коэффициент теплопроводности, ккал/(м · ч · К),	Не более 0.38
Удельная теплоемкость, ккал/(кгс · К)	Не менее 0.10



Внешний вид пробивки при давлении прессования: *а* — до 5 кгс/см², *б* — от 6 до 15 кгс/см², *в* — от 16 до 40 кгс/см², *г* — более 40 кгс/см²

давлении 40 кгс/см² она стала значительной. Внешний вид такой пробивки показан на рисунке *в*.

Обращает на себя внимание тот факт, что при таком давлении имеют место складки на ткани из-за неодинаковой скорости проникновения резиновой смеси через ячейки вследствие неоднородности их размеров. Кроме того, из-за большей скорости проникновения резиновой смеси из ячеек не успевают выходить образовавшиеся газы, а поэтому снова появляются газовые полости. Их наличие недопустимо, так как в процессе работы РДТТ могут появиться трещины и расслоения.

Увеличение усилия прессования более 40 кгс/см² приводит к образованию на образцах участков со значительной пробивкой ткани резиной. Резкое повышение давления приводило к сплошной пробивке, поверхность ткани практически полностью была пропитана резиной (см. рисунок *г*). Такая сплошная пробивка недопустима ни для барьерного и соединительных слоев, ни для манжетного узла. Наличие сплошной пробивки в барьерном и соединительном слоях может привести к образованию трещин и расслоений между ТЗП и зарядом твердого топлива и ТЗП и корпусом РДТТ, соответственно, а в манжетном узле — исключает возможность компенсации температурно-силовых деформаций. Во всех случаях могут быть тяжелые катастрофические последствия.

Образцы, изготовленные при давлении от 6 до 15 кгс/см², были направлены на испытания

по определению химического средства к твердому ракетному топливу. После проведения испытаний прочность крепления твердого ракетного топлива к тканевой поверхности образцов теплозащитного покрытия составила 5—7 кгс/см². Характер разрушения образцов когезионный. Полученная прочность крепления соответствовала требованиям, предъявляемым к ВТЗП.

ВЫВОДЫ

Разработанный эластомерный материал по своим физико-механическим характеристикам пригоден для изготовления внутренних теплозащитных покрытий РДТТ.

Определено оптимальное усилие прессования, при котором резина заполняет половину объема ячейки ткани. Оно находится в пределах 6—15 кгс/см². Результаты изготовления плоских образцов теплозащитных покрытий позволяют предположить возможность замены технологии изготовления диафрагменного способа на более прогрессивный-компрессионный.

Таким образом, результаты предварительных исследований показывают, что на основе эластомерных материалов возможно создание надежных теплозащитных покрытий для РДТТ. После проведения огневых испытаний РДТТ можно будет сделать окончательный вывод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Джур Є. О., Кучма Л. Д., Манько Т. А., Сітало В. Г., Санін Ф. П., Санін А. Ф. Полімерні композиційні матеріали в ракетно-космічній техніці. — К.: Вища освіта, 2003. — С. 293—300.
2. Maurizio N., Rallini M., Puglia D., Kenny J., Torre L. EPDM based heat shielding materials for Solid Rocket Motors: A comparative study of different fibrous reinforcements // Polymer Degradation and Stability. — 2013. — N 98. — P. 2131—2139.
3. Pat. US 4 501 841. Elastomeric insulating materials for rocket motors / L. G. Herring. — Publ. 26.02.1985.

Стаття надійшла до редакції 21.09.17

REFERENCES

1. Dzjur E. O., Kuchma L. D., Manko T. A., Sitalo V. G., Sanin F. P., Sanin A. F. The polymeric composition materials in a space-rocket technique, 293—300 (Vischa osvita, K., 2003).
2. Maurizio N., Rallini M., Puglia D., Kenny J., Torre L. EPDM based heat shielding materials for Solid Rocket Motors: A comparative study of different fibrous reinforcements. Polymer Degradation and Stability, N 98, 2131—2139 (2013).
3. Pat. US 4 501 841. Elastomeric insulating materials for rocket motors / L. G. Herring. — Publ. 26.02.1985.

Received 21.09.17

М. С. Хорольський¹, С. П. Лаврінченко²,
О. М. Потанов³, К. В. Козис³

¹ Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

² Державне підприємство «Український науково-дослідний конструкторсько-технологічний інститут еластомерних матеріалів і виробів», Дніпро, Україна

³ Державне підприємство «Конструкторське бюро «Південне» імені М. К. Янгеля», Дніпро, Україна

ПЕРСПЕКТИВИ СТВОРЕННЯ НАДІЙНИХ ТЕПЛОЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ РДТП НА ОСНОВІ ЕЛАСТОМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

Наводяться результати досліджень технічних характеристик нового еластомерного матеріалу для внутрішнього

теплозахисного покриття ракетних двигунів на твердому паливі. Проведені роботи з вибору експериментальним шляхом оптимального зусилля пресування для отримання зразків еластомерного композиційного матеріалу з необхідним ступенем пробиття армуючої тканини.

Ключові слова: внутрішнє теплозахисне покриття, еластомер, каучук, гума, тканина капронова еластична технічна, тверде паливо, ракетний двигун на твердому паливі.

М. С. Khorolskyi¹, S. P. Lavrynenko²,
A. M. Potapov³, K. V. Kozys³

¹ Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

² State Enterprise Ukrainian Research Design-Technological Institute of Elastomer Materials and Products, Dnipro, Ukraine

³ Pivdenne State Design Office named after M. K. Yangel, Dnipro, Ukraine

PROSPECTS OF CREATION OF RELIABLE THERMAL BARRIER COATING SYSTEMS UTILISING ELASTOMERIC MATERIALS FOR SOLID PROPELLANT ROCKET ENGINES

We present the results of studies of physical-mechanical properties of a new elastomeric material for the internal heat-resistant covering of solid propellant rocket engines. With this aim we conducted an experimental selection of the optimum pressing force to obtain the samples of the elastomeric composite material with the required degree of penetration of reinforcing fabric.

Keywords: internal heat-resistant covering, elastomer, caoutchouc, rubber, fabric is a kapron elastic technical, solid propellant, rocket engine on a solid propellant.