DOI: 10.15593/2224-9982/2016.44.09

УДК 629.7.023.22

Б.А. Нестеров, Р.О. Балуев, К.В. Ворожцов

Научно-производственное объединение «Искра», Пермь, Россия

ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ ТЕПЛОЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ КРЫШКИ ПЕРЕДНЕЙ СЛОЖНОГО ПРОФИЛЯ С ЖЕСТКИМИ СТРУКТУРНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Впервые использовался способ, практическое применение которого позволило создать технологию нанесения теплозащитного покрытия сложного профиля крышки передней с прочно-скрепленными жесткими структурными элементами с использованием специального приспособления.

В ходе научно-исследовательской работы были проведены исследования: осуществлен анализ различных вариантов нанесения ТЗП сложного профиля крышки передней с жесткими структурными элементами; проведена технологическая отработка различных вариантов нанесения ТЗП; выбран оптимальный вариант изготовления, обеспечивающий требуемое качество ТЗП; разработан технологический процесс нанесения ТЗП крышки передней.

Предложенная технология позволяет изготавливать внутреннее ТЗП сложного профиля крышки передней с жесткими структурными элементами с обеспечением целостности закладного элемента, без применения дополнительной механической обработки, что гарантирует требуемое качество нанесенного покрытия, а также снижает трудоемкость и стоимость изготовления изделия. По данной технологии изготовлено более 10 сборочных единиц.

Ключевые слова: теплозащитное покрытие, двухстадийное экструдирование, шнек-пресс, крышка передняя, закладной элемент, пресс-форма, сложный профиль, матрица, кольцо вкладное, смесь резиновая.

B.A. Nesterov, R.O. Baluev, K.V. Vorozhtsov

PJSC Research and Production Association "Iskra", Perm, Russian Federation

TECHNIQUE OF FORMING THERMAL INSULATION ON FRONT COVER WITH COMPLEX GEOMETRY AND RIGID STRUCTURAL ELEMENTS

The article describes technique of forming thermal insulation on front cover using special device. The cover is of complex geometry and rigid structural elements. It was analyzed various methods of forming thermal insulation and optimization of different forming processes. It was developed and chosen the optimal manufacturing process providing the required properties of thermal insulation. The proposed technique ensures integrity of embedded element without application of additional machining what guarantees the required properties of thermal insulation, as well as reduces labour intensiveness and manufacturing costs. Thanks to this technique, more than 10 assembly units were manufactured.

Keywords: thermal insulation, double-stage extrusion, screw press, front cover, embedded element, press mold, complex geometry, die, insert ring, rubber compound.

В настоящее время активно проводится отработка технологии изготовления теплозащитного покрытия (ТЗП) крышки передней из эрозиянностойкой резиновой смеси сложной геометрической формы, с закладными структурными элементами в виде кольца вкладного из углеволокнита [1–3].

Изготовление крышки с заданными конструктивными особенностями является сложной технологической задачей. На рис. 1 изображена принципиальная конструкция крышки передней с закладными элементами.

Рис. 1. Принципиальная конструкция крышки передней с закладными элементами: 1 – смесь резиновая; 2 – закладной элемент

Необходимым условием при изготовлении крышки передней является выполнение требований по геометрии наружного профиля и качеству поверхности ТЗП, по монолитности и сплошности покрытия, целостности закладного элемента, толщин ТЗП и размеров, скреплению его с металлом согласно КД. Всё это позволяет говорить о необходимости рассмотрения и использования способа изготовления, который бы обеспечивал требуемое качество.

Известен способ нанесения ТЗП послойной выкладкой заготовок резины на подложку или способ намотки профильным жгутом, которые заключаются в нанесении резиновой смеси на поверхность крышки с образованием канавок, в которые устанавливаются предварительно обрезиненные по контактным поверхностям закладные элементы. Далее, с использованием специальной оснасти и обжимной оболочки, проводят вулканизацию покрытия гидровакуумным или автоклавным методом [4–7]. При этом в массиве эластомера не возникает таких потоков материала и напряжений, при которых появлялась бы возможность потери прочности закладных элементов [8, 9].

К недостаткам данного метода относятся низкая механизация труда, необходимость изготовления специальной обжимной оболочки, громоздкая оснастка, также профиль покрытия требует дополнительной механической обработки, что существенно увеличивает трудоемкость и стоимость изготовления.

Известен способ нанесения ТЗП, который заключается в экструдировании в пресс-форму, при этом в пресс-форму с установленной крышкой передней и закладными элементами при помощи шнек-пресса (рис. 2) нагнетается резиновая смесь до полного заполнения пресс-формы с последующей вулканизацией в печи [5–7].

Рис. 2. Схема шнек-пресса: 1 – загрузочное окно; 2 – цилиндрическая камера; 3, 6 – переходники; 4 – профилирующие насадки; 5 – пресс-форма; 7 – пульт управления; 8 – система водяного охлаждения; 9 – датчик температуры; 10 – подставка

Шнек-пресс представляет собой разновидность червячного пресса (см. рис. 2). Нарезанные и предварительно прогретые полосы резины загружаются в загрузочное окно 1, после чего попадают в цилиндрическую камеру 2, внутри которой находится вращающийся «червяк» (шнек). Вращающийся шнек обеспечивает непрерывную подачу резиновой смеси вдоль цилиндрической камеры шнек-пресса к выпускному отверстию. При этом создается достаточно большое давление, необходимое для продавливания резиновой смеси.

В передней части шнек-пресса к торцу цилиндрической камеры крепится переходник 3, к которому крепятся профилирующие насадки 4. Переходник состоит из корпуса с подвижной втулкой, служащей для открытия и закрытия отверстия при подаче материала в техоснастку 5. Переходник имеет запорный конус для перекрытия отверстия при перепуске материала. Для установления необходимой температуры текучести материала в переходнике установлен индивидуальный электронагреватель и система водяного охлаждения 8 с автоматической системой поддержания заданной температуры при помощи датчика 9. Непрерывно загружая полосы резины в загрузочное окно, получаем профиль бесконечной длины необходимого сечения.

В шнек-прессе происходят следующие процессы: продвижение перерабатываемого материала к выдавливающему контуру, нагрев его до необходимой температуры с помощью наружных нагревательных элементов, пластификация или расплавление, перемешивание или гомогенизация и, наконец, выдавливание через формующий инструмент благодаря образуемому шнеком давлению.

К основным технологическим параметрам, необходимым для выбора рационального режима переработки и установления оптимальных режимов, относятся: продолжительность вязкотекучего состояния в зависимости от температуры и скорости сдвига, скорость отверждения, вязкость. Следует отметить, что значительная вязкость ТЗМ создает определенные трудности при выборе механизированного способа переработки.

Решающим фактором для перемещения материала в одношнековом прессе является взаимодействие вращающегося шнека с неподвижными стенками цилиндра. При этом большое значение имеет величина коэффициента трения между материалом и шнеком, а также между материалом и цилиндром, особенно на участке загрузки, который заполнен нерасплавленным и непластифицированным материалом. Чтобы материал мог перемещаться вдоль оси шнека, коэффициент трения о поверхность должен быть меньше, а о стенки цилиндра – больше. Если это основное условие не выполняется, то может происходить вращение материала вместе со шнеком без осевого перемещения.

Большое значение имеют не только механические свойства поверхностей, но и температура. Эффективное продвижение материала в выдавливающей зоне зависит от взаимопротиворечивых факторов.

В любом случае при правильно работающей загрузочной зоне шнек создает напор в потоке материала, заполняющего канал нарезки шнека. Но на величину давления влияют и процессы, происходящие в средней (пластифицирующей) и выдавливающей зонах.

Напор потока материала, особенно величина максимума давления, зависит от совокупности ряда факторов: вида перерабатываемого материала, характеристик шнека, сопротивления формующего инструмента, параметров технологического процесса (числа оборотов, температуры и т.д.) [5]. Создаваемое давление потока действует в двух взаимно противоположных направлениях: в сторону формующего инструмента и реактивно – в сторону загрузки, так как в примыкающей к ней области давление обычно равно нулю. Обратное движение потока в сторону загрузочной зоны происходит как вдоль оси винтового канала шнека, так и через кольцевой зазор между выступами нарезки шнека и цилиндром. Движение вдоль пазов шнека обычно обозначается как возвратный поток под давлением, а движение через кольцевой зазор – как утечка. При высокой вязкости расплава, малой величине кольцевого зазора утечка относительно невелика.

Принципиально процесс шнекования заключается в следующем. Завертывается переходная втулка переходника до отсечки литникового канала пресс-формы. Включается шнек-пресс, перепускаются остатки материала из переходника через стравливающее отверстие пресс-формы до выхода разогретого эластичного материала. Развертывается переходная втулка, открывая доступ материала в литниковое отверстие пресс-формы, и заглушается стравливающее отверстие переходника.

Проводится шнекование материала в пресс-форму до его появления из стравливающих отверстий оснастки в течение 2–3 мин и выключается шнек-пресс. Завертывается переходная втулка переходника, подрезается материал в литнике пресс-формы и отключается подача горячей воды в зонах шнек-пресса. Отключается нагреватель горячей воды и подается холодная вода в зоне шнек-пресса. Максимальное давление в сборках при шнековании до 65 кгс/см^2 .

При шнековании ТЗП полимеризация покрытий осуществляется без приложения давления, как это происходит при ручной послойной выкладке. Отверждение отформованных покрытий осуществляли в термопечи по штатному режиму полимеризации покрытий.

Подбор технологических параметров проведен на основании опыта ранее отработанных изделий. Данный способ обладает высокой степенью механизации, производительностью, обеспечивает требуемый профиль ТЗП.

Недостатками данного способа являются необходимость специальной оснастки и наличие потоков резины высокого давления внутри пресс-формы, при котором высока вероятность поломки закладных элементов.

Известен способ нанесения ТЗП экструдированием без установки закладных элементов, при этом канавки под установку закладных элементов выполняются механической обработкой [8–11]. Данный способ также обладает высокой степенью механизации, обеспечивает целостность закладного элемента, требуемый профиль ТЗП.

Недостатком данного способа является необходимость механической обработки канавок для вклейки закладных элементов, которая не всегда позволяет обеспечивать требуемые геометрические размеры, что приводит либо к дополнительной ручной обработке, либо к наличию клеевого шва большой толщины.

Для обеспечения требуемого качества изготовления теплозащитного покрытия крышки с закладными элементами использована технология нанесения ТЗП методом экструдирования в два этапа в специальной пресс-форме.

Новизна предлагаемой технологии нанесения ТЗП заключается в нанесении резины экструдированием в два этапа, с предварительно установленными закладными элементами, которые фиксируются по наружному диаметру предварительно отформованным покрытием, полимеризуются с использованием специального приспособления – пресс-формы.

Первый этап. На предварительно подготовленную поверхность крышки наносится система клеев горячего отверждения, в пресс-форму устанавливается крышка и матрица № 1 (рис. 3), и пресс-форма с установленной крышкой разогревается до температуры $(90 \pm 5)^\circ\text{C}$ для создания оптимальных условий перетекания резиновой смеси при заполнении формы.

Пресс-форму перемещают к шнек-прессу и проводят первый этап шнекования, при этом резиной заполняется верхняя полость до выхода резины из литников и достижения давления 65 кгс/см^2 . Затем проводится

режим термообработки, после которого получается профильное ТЗП с отформованной поверхностью под установку закладного кольца.

Рис. 3. Схема экструдирования крышки передней в универсальной пресс-форме. Первый этап: 1 – крышка передняя; 2 – матрица для первого этапа экструдирования

Второй этап. Пресс-форму извлекают из печи, частично демонтируют, устанавливают кольцо закладное с нанесенной на соответствующие поверхности антиадгезивом и клеями горячего отверждения (рис. 4).

Рис. 4. Вклейка закладного элемента: 1 – поверхности для нанесения антиадгезива; 2 – поверхности для нанесения системы клеев горячего отверждения

Устанавливают на отформованную поверхность ТЗП и собирают пресс-форму с матрицей № 2 (рис. 5). После разогрева пресс-формы шнекуется вторая нижняя часть ТЗП. При выходе резины из литников шнекование прекращают. Проводят окончательную вулканизацию покрытия.

Рис. 5. Схема экструдирования крышки передней в универсальной пресс-форме. Второй этап: 1 – крышка передняя; 2 – матрица для второго этапа экструдирования; 3 – закладной элемент

После вулканизации получается ТЗП, прочно скрепленное с поверхностью металла и закладными элементами, монолитное, с обеспечением целостности закладных элементов, с заданными требованиями к физико-механическим характеристикам и внешнему виду наружной поверхности, после чего остается только приклеить к поверхности ТЗП конструктивные элементы системы газораспределения и стыковки к корпусом. Механическая обработка не требуется.

Практическое применение данного метода подтвердило технологичность рассматриваемого способа изготовления ТЗП крышки передней с закладными элементами, что позволяет говорить о правильности выбранного решения и о возможности дальнейшего совершенствования технологии изготовления ТЗП методом экструдирования.

В настоящее время из-за отсутствия математических моделей поведения эластомеров при экструдировании в пресс-форму, методик расчета параметров потока технологические параметры подбираются экспериментальным путем, что не гарантирует экономичности технологического процесса и получения требуемых эксплуатационных характеристик теплозащиты. Дальнейшее совершенствование требует построения физико-математической модели процесса, идентичной реальной, и на ее основе разработки технологии рационального проектирования и изготовления ТЗП.

Предложенная технология позволяет изготавливать ТЗП крышки передней сложного профиля с жесткими структурными элементами с обеспечением целостности закладного элемента, без применения дополнительной механической обработки, что гарантирует требуемое ка-

чество изготовления, а также снижает трудоемкость и стоимость изготовления изделия. С использованием разработанной технологии изготовлены более 10 сборочных единиц, которые применяются для выполнения задач комплексной экспериментальной отработки.

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. Веницкий, В.Т. Волков, И.Т. Волковицкий, С.В. Холодилов. – М.: Машиностроение, 1980. – 231 с.
3. Эластомерные теплозащитные материалы. Обзор / сост. Ю.Б. Дубинкер, А.А. Донской / Всесоюз. ин-т авиац. материалов. – М., 1969. – 37 с.
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. Сер.: 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. – С. 435.
7. Генель С.В., Белый В.А., Булгаков В.Я. Применение полимерных материалов в качестве покрытий. – М.: Химия, 1968. – 238 с.
8. Основы теплопередачи в авиационной и ракетно-космической технике / В.С. Авдеевский [и др.]. – М.: Машиностроение, 1975. – С. 404–408.
9. Полежаев Ю.В., Юревич Ф.Б. Тепловая защита. – М.: Энергия, 1976. – 392 с.
10. Романов А.С. Системы обеспечения тепловых режимов герметичных отсеков и ядерных энергетических установок космических аппаратов. – СПб.: Профессионал, 2014. – 248 с.

11. Гофин М.Я. Жаростойкие конструкции многоразовых аэрокосмических аппаратов / ЗАО ТФ «Мир». – М., 2003. – 671 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 tests 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: Vsesoyuznyy institut aviatsionnykh materialov, 1969. 37 p.

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 testing 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, p. 435.

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

8. Avduevskiy V.S. [et. al]. Osnovy teploperedachi v aviatsionnoy i raketno-kosmicheskoy tekhnike [Heat-transfer principles in aerospace engineering]. Moscow: Mashinostroenie, 1975, pp. 404-408.

9. Polezhaev Yu.V., Yurevich F.B. Teplovaya zashchita [Thermal protection]. Moscow: Energiya, 1976. 392 p.

10. Romanov A.S. Sistemy obespecheniya teplovykh rezhimov germetichnykh otsekov i yadernykh energeticheskikh ustanovok kosmicheskikh apparatov [Thermal condition supporting systems of pressurized

compartments and nuclear power plants of spacecrafts]. Saint Petersburg: Professional, 2014. 248 p.

11. Gofin M.Ya. Zharostoykie konstruktzii mnogorazovykh aerokosmicheskikh apparatov [Heat-resistan constructions of shuttlecrafts]. Moscow: Mir, 2003. 671 p.

Об авторах

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

Балугев Роман Олегович (Пермь, Россия) – инженер-технолог ПАО «Научно-производственное объединение “Искра”» (614038, г. Пермь, ул. Академика Веденеева, д. 28, e-mail: bro720@iskra.perm.ru).

Ворожцов Константин Владимирович (Пермь, Россия) – руководитель группы ПАО «Научно-производственное объединение “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, PJSC Research and Production Association “Iskra” (28, Akademika Vedeneeva st., Perm, 614038, Russian Federation, e-mail: nba720@iskra.perm.ru).

Roman O. Baluev (Perm, Russian Federation) – Production Engineer, PJSC Research and Production Association “Iskra” (28, Akademika Vedeneeva st., Perm, 614038, Russian Federation, e-mail: bro720@iskra.perm.ru).

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

Получено 16.11.2015