



DOI 10.22363/2312-8143-2017-18-3-318-324

УДК 678.01

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В КОНСТРУКЦИИ КРИОНЕННОГО РАЗГОННОГО БЛОКА «12 КРБ»

Г.Е. Нехороших

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)
2-я Бауманская ул., 5, стр. 1, Москва, Россия, 105005

Приведены результаты проектирования, изготовления, экспериментальной отработки и внедрения в производство технологических процессов изготовления трубопроводов сложной формы из полимерных пленочных материалов, нашедших применение при создании криогенного разгонного блока «12КРБ».

Ключевые слова: проектирование, разгонный блок, внебаковый трубопровод, теплоизолирующее покрытие, жидкий водород, полиимидные пленки, песчано-клеевые оправки, многослойная намотка, экспериментальная отработка, герметичность

Введение. Жидкий водород является одним из лучших горючих, обеспечивающих в сочетании с кислородом достижение наиболее высокой удельной тяги среди жидкостных ракетных двигателей. Вместе с тем его применение порождает ряд достаточно сложных научно-технических проблем транспортировки, хранения и использования в двигателях ракет-носителей (РН) и разгонных блоков (РБ). За последние годы экспериментально отработаны и апробированы на образцах, модельных и натуральных изделиях ряд новых технологических процессов и видов оснастки, в том числе и технология изготовления прямо- и криволинейных композитных трубопроводов, предназначенных для транспортировки криогенных компонентов топлива (вплоть до температуры 20 К).

Технологические рекомендации, оборудование и оснастка для изготовления подобных трубопроводов были внедрены при участии автора в ГКНПЦ им. М.В. Хруничева и использовались при изготовлении криогенных разгонных блоков.

1. Особенности кислородно-водородного разгонного блока «12КРБ»

Кислородно-водородный разгонный блок «12КРБ» разработан и изготовлен в ГКНПЦ им. М.В. Хруничева по соглашению с Индийской организацией космических исследований (ISRO) для РН GSLV (Geosynchronous Satellite Launch Vehicle). По соглашению предусматривалась передача поставляемых Россией Индии семи летных «12КРБ» и двух полноразмерных макетов для отработки технологии работ и для отработки заправки.

«12КРБ» оснащался ЖРД КВД-1 разработки КБХМ им. А.М. Исаева на компонентах топлива «жидкий кислород + жидкий водород» тягой 7,5 тс (около 750 кН) с удельной тягой — 461 с. В составе РН GSLV «12КРБ» массой 12 т обеспечивает выведение с космодрома Шрихарикота на геопереходную орбиту космических аппаратов массой до 2,5 т.

Проблемы создания композитных трубопроводов, предназначенных для транспортировки криогенных компонентов ракетного топлива.

Рабочие температуры топливных магистралей (до 20 К) затрудняют применение традиционно используемых для этих целей металлических сплавов. При воздействии криогенных температур они значительно изменяют свои линейные размеры (особенно сказывается уменьшение длины) и охрупчиваются. Во избежание повреждений требуется установка нескольких сильфонных компенсаторов, что приводит к переутяжелению и удорожанию конструкций таких магистралей. Для решения возникших проблем были проведены расчетно-теоретические и экспериментальные исследования по поиску новых материалов, способных работать при отрицательных температурах и в агрессивных средах [1; 2]. В ходе работ было выявлено, что к таким материалам относятся, в частности, дублированные полиимидные пленки с двусторонним покрытием фторопласта (ПМФ-352). Они обладают малой газопроницаемостью, повышенной прочностью, высокой химической стойкостью, что обеспечивает им работоспособность при криогенных температурах.

Применению полимерных трубопроводов из полиимидного композиционного материала предшествовала большая научно-исследовательская работа. В процессе ее выполнения были разработаны конструкции полиимидных трубопроводов, в том числе сложной конфигурации, металлических законцовок для их соединения, технологический процесс изготовления и технологическая оснастка, необходимая для осуществления этого процесса и испытаний трубопроводов, а также изучены основные физико-механические характеристики полиимидного композиционного материала при нормальных и криогенных температурах.

Полиимидные пленки с фторопластовым покрытием стали основным материалом, из которого были изготовлены трубопроводы методом многослойной намотки на удаляемую технологическую оправку, изготавливаемую из песчано-клеевой смеси (удаляется вымыванием в проточной воде), либо из тонкостенной трубчатой заготовки из алюминиевого сплава типа АМг-6 (удаляется травлением в растворе NaOH).

Последовательность этапов изготовления пленочных трубопроводов такая:

- формование удаляемых оправок;
- сборка оправок с соединительными законцовками и установка их на نامоточном оборудовании (рис. 1);
- намотка слоев полиимидной пленки (рис. 2);
- термообработка намотанных изделий;
- вымывание песчано-клеевой оправки;
- опрессовка;
- контроль герметичности.

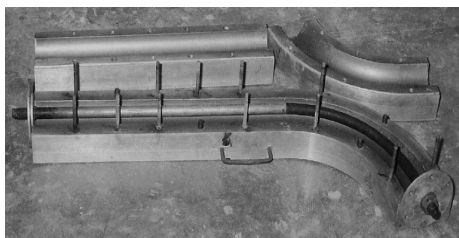


Рис. 1. Установка оправки
на намоточном станке

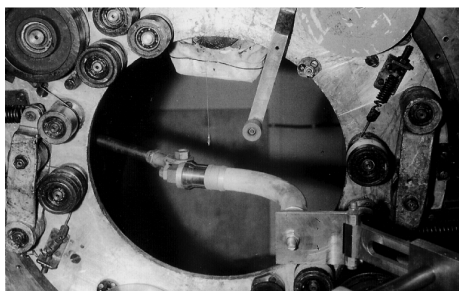


Рис. 2. Намотка слоев полиимидной пленки

Конструкция полностью укомплектованного разгонного блока «12КРБ» (рис. 5) включала в себя 27 наименований композитных топливопроводов (внебаковых с теплоизоляцией и внутрибаковых) различной конфигурации диаметром от 30 до 80 мм.

Комплекты полиимидных трубопроводов для стендовых и летных изделий «12КРБ» изготавливались в МГТУ им. Н.Э. Баумана, а испытывались в КБ «Салют». Применение композитных трубопроводов позволило добиться ряда преимуществ по сравнению с металлическими трубопроводами:

- снижение массы топливных магистралей на 20—30%;
- сохранение пластичности трубопроводов до температуры 20 К;
- исключение из конструкции дорогостоящих и тяжелых компенсаторов перемещений;
- обеспечение герметичности по гелию $5 \cdot 10^{-3}$ л·мкм·рт.ст./с;
- допустимое абсолютное давление внутренней среды до 2 МПа (20 кг/см²);
- низкая фактическая газопроницаемость композитных трубопроводов по гелию, обеспечивающая пожаро-, взрывобезопасную эксплуатацию.

Конструкция внебаковых трубопроводов обязательно предусматривает нанесение наружной теплоизоляции. Полиимидные трубопроводы (рис. 3) представляют собой оболочки из пленочного пластика с металлическими законцовками из нержавеющей стали (12Х18Н10Т).

В процессе отработки конструкции разгонного блока на Ракетно-космическом заводе ГКНПЦ им. М.В. Хруничева были сделаны и отправлены в Индию два полноразмерных макета «12КРБ» (рис. 4).

Изготовление макетов обеспечивало решение следующих задач:

- отработка технологии подготовки к запуску, электрических проверок системы управления и ее отработки (технологический макет *N*);
- проверка всех стыков и заправочного оборудования космодрома (заправочный макет *G*).

Испытания ЖРД КВД-1М и всего криогенного блока в сборе проходили на экспериментальной базе НИИ Химмаш (в настоящее время ФКП «НИЦ РКП», Пересвет) [3].



Рис. 3. Разнообразие полиимидных трубопроводов

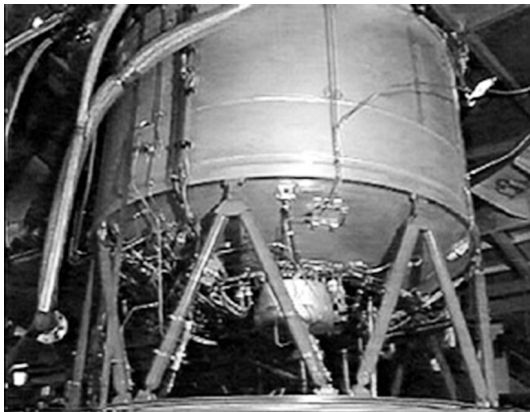


Рис. 4. Технологический макет «12КРБ»

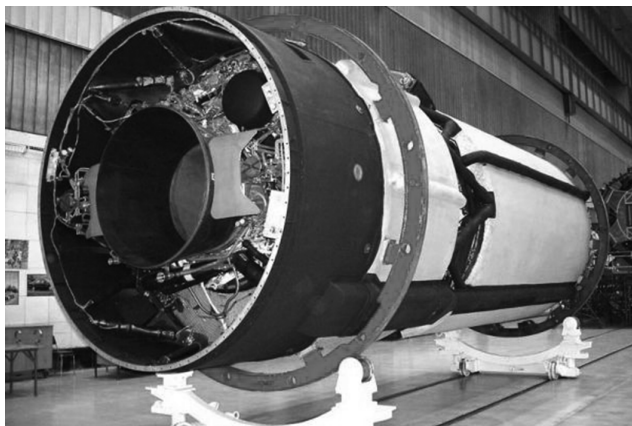


Рис. 5. Криогенный разгонный блок «12КРБ»

Еще одним важным преимуществом композитных трубопроводов, получаемых методом намотки является возможность изготовления изделий любой, определяемой прочностным расчетом, толщины. Толщина использовавшихся ранее металлических трубопроводов определялась существующими стандартными нормативами и возможностями прокатного оборудования.

Первый успешный пуск GSLV с криогенным разгонным блоком «12КРБ» был осуществлен 18 апреля 2001 года (рис. 6).



Рис. 6. Ракета-носитель GSLV с криогенным разгонным блоком «12КРБ»
(вторая ступень сверху)

Положительные результаты использования полимерных трубопроводов в разгонном блоке, работающем на криогенных топливах, позволили рекомендовать данный материал для изготовления трубопроводов аналогичного назначения в конструкциях РН семейства «Ангара» (рис. 7).



Рис. 7. Ангара 1.2

В связи с этим, в рамках научно-технического сотрудничества специалистов КБ «Салют» и МГТУ им. Н.Э. Баумана на базе Ракетно-космического завода ГКНПЦ им. М.В. Хруничева создан участок по производству полиимидных композитных трубопроводов [2]. Полученный опыт используется при создании трубопроводов из полимерных композиционных материалов с внутренним диаметром до 300 мм для РН «Ангара».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Научные школы Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана. История развития / под ред. И.Б. Федорова, К.С. Колесникова. 2-е изд., доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 464 с.
- [2] Научно-технические разработки ОКБ-23 — КБ «Салют». М.: Воздушный транспорт, 2006. 720 с.
- [3] URL: <http://www.novosti-kosmonavtiki.ru/content/numbers/188-189/24.shtml>

© Нехороших Г.Е., 2017

История статьи:

Дата поступления в редакцию: август 2017

Дата принятия к печати: сентябрь 2017

Для цитирования:

Нехороших Г.Е. Опыт применения полимерных пленочных материалов в конструкции криогенного разгонного блока «12 КРБ» // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: «Инженерные исследования». 2017. Т. 18. № 3. С. 318–324. DOI 10.22363/2312-8143-2017-18-3-318-324

Сведения об авторе:

Нехороших Геннадий Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент кафедры СМ13 МГТУ им. Н.Э. Баумана «Ракетно-космические композитные конструкции». *Контактная информация*: e-mail: nekhor47ge@mail.ru

EXPERIENCE OF APPLICATION OF POLYMERIC PELLICLE MATERIALS IN CONSTRUCTION OF CRYOGENIC STARTING BLOCK «КРБ-12»

G.E. Nekhorosikh

Bauman Moscow State Technical University
(National Research University)
2-nd Baumanskaya str., 5/1, Moscow, Russia, 105005

The results of design, fabrication, experimental testing and introduction of technological processes of manufacture of pipelines complex shapes from polymeric film materials, which was used when creating a cryogenic upper stage “12КРБ» is presented.

Key words: design, upper stage, webcopy tubing, heat-insulating coating, liquid hydrogen, polyimide film, sand and glue the mandrel, a multilayer winding, experimental testing, tightness

REFERENCES

- [1] Scientific schools of the Moscow State Technical University named after N.E. Bauman. History of development / Ed. I.B. Fedorova, K.S. Kolesnikova. 2 nd ed., Ext. Moscow: MSTU them. N.E. Bauman, 2005. 464 p.

- [2] Scientific and technical developments of DB-23 — DB “Salyut”. М.: Aircraft, 2006. 720 p.
[3] URL: <http://www.novosti-kosmonavtiki.ru/content/numbers/188-189/24.shtml>

Article history:

Received: August 2017

Accepted: September 2017

For citation:

Nekhorosikh G.E. (2017) Experience of application of polymeric pellicle materials in construction of cryogenic starting block «КРБ-12». *RUDN Journal of Engineering Researches*, 18(3), 318–324. DOI 10.22363/2312-8143-2017-18-3-318-324

Bio Note:

Nekhorosikh G.E., кандидат технических наук, доцент кафедры СМ13 МГТУ им. Н.Э. Баумана «Ракетно-космические композитные конструкции». *Контактная информация:*
e-mail: nekhor47ge@mail.ru