

УДК 629.7

А.В. ДЕГТЯРЕВ, В.А. КОВАЛЕНКО, А.В. ПОТАПОВ

*Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля»,
Днепропетровск, Украина***ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
ПРИ СОЗДАНИИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ОБРАЗЦОВ РАКЕТНОЙ ТЕХНИКИ**

Проведен обзор применения полимерных композиционных материалов на Государственном предприятии «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля. Выделены основные направления использования композитов в изделиях отечественной ракетно-космической техники. Отмечается, что в ГП «КБ «Южное» накоплен большой практический опыт использования полимерных композиционных материалов, найден ряд оригинальных конструкторско-технологических решений, применены уникальные технологические процессы, позволившие создать конструкции высокого весового совершенства.

Ключевые слова: полимерный композиционный материал, ракетно-космическая техника, силовые конструкции, РДТТ, ЖРД, отсек.

Введение

За годы своего существования ГП «КБ «Южное» им. М.К. Янгеля создало несколько поколений стратегических ракет-носителей (РН) и космических аппаратов (КА). Требования к их высокому весовому совершенству предопределили применение в них новых высокопрочных и высокомодульных полимерных композиционных материалов (ПКМ). В зависимости от назначения к создаваемым конструкциям ракетно-космических комплексов предъявляются также требования по высокой точности выходных геометрических параметров и стабильности прочностных характеристик. Они должны быть теплостойкими, герметичными, защищенными от коррозии. Указанные требования решаются на этапе проектных проработок за счёт выбора оптимальных конструктивно-технологических решений и применения современных материалов с высокими удельными характеристиками по прочности и жёсткости. В разра-

ботках КБ широко используются ПКМ. Например, в ракетах твёрдотопливного класса объём их применения достигает 60% от сухого веса конструкции.

**Обзор применения ПКМ в разработках
ГП «КБ «Южное» им. М.К. Янгеля**

Основными направлениями применения ПКМ в разработках КБ являются:

- силовые конструкционные элементы, для которых преобладающее значение имеют прочностные и упругие характеристики;
- теплозащитные и теплоизоляционные покрытия,
- эрозионностойкие элементы конструкций.

Большой опыт отработки силовой конструкции был получен при создании корпуса крупногабаритного твердотопливного ракетного двигателя (РДТТ) (рис. 1), работающего при воздействии внутреннего давления и осевого сжатия.

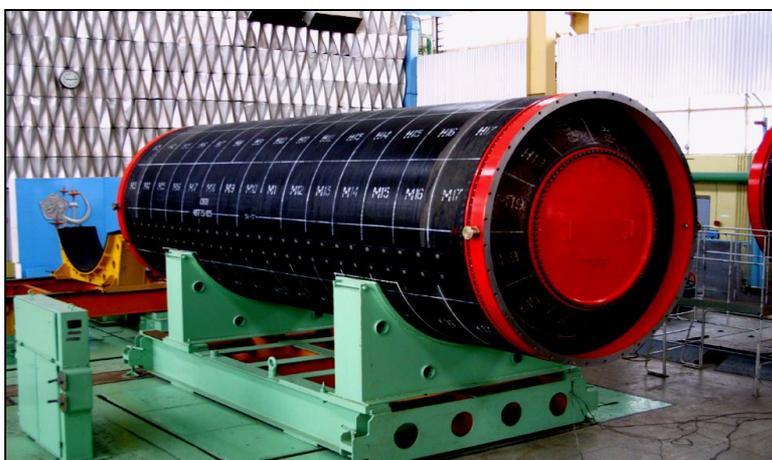


Рис. 1. Корпус РДТТ из ПКМ

Задача обеспечения его высокого массового совершенства решена применением коконной конструкции, изготовленной из органопластика методом «мокрой» намотки на намоточных станках с программным управлением. При этом обеспечивалась высокоточная укладка армирующего наполнителя на оправку и выдерживались все необходимые параметры намотки.

В процессе создания корпуса проведен комплекс исследований и проектно-конструкторских проработок, позволивших следующее:

- выбрать схему армирования силовой оболочки корпуса по линиям наименьшего отклонения для данной конструкции, не превышая значений предельных углов трения в уравнении Клеро;

- принять сфероидальную форму днищ, как обеспечивающую размещение максимального запаса топлива в условиях габаритных ограничений при максимальном значении коэффициента массового совершенства силовой оболочки корпуса;

- определить рациональное соотношение наполнителя и связующего в материале силовой оболочки;

- выбрать оптимальные программы намотки корпусов.

Внедрение результатов этих исследований дало возможность уменьшить длину корпуса при заданной массе топлива примерно на 120 мм или при фиксированной длине увеличить рабочий запас топлива на 860 кг.

Отработка конструктивно-технологической схемы корпуса проводилась на моделях 05.0287 и ПГ-3 в лабораторных и заводских условиях. Корпус прошёл весь комплекс наземной экспериментальной отработки и введен в серийную документацию. По уровню технического совершенства и основным параметрам созданный корпус РДТТ превосходил лучшие отечественные и зарубежные аналоги.

Следующим этапом применения ПКМ материалов в силовых конструкциях стало создание хвостового отсека из углепластика. Отсек представляет собой двухконусную оболочку седловидной формы, имеющую торцевые и промежуточный шпангоуты (рис. 2).

Все работы велись по комплексной программе экспериментальной отработки, предусматривающей проведение работ от исследований по выбору материала до выпуска заключения о допуске хвостового отсека к серийному изготовлению. Спецификой разработки и проектирования узла явилось то, что к моменту разработки уже был создан металлический хвостовой отсек, прошедший функциональную и прочностную отработку. Вновь разрабатываемый узел по своим геометрическим и функциональным параметрам не должен был отличаться от металли-

ческого и при меньшей массе превосходить его по прочности.



Рис. 2. Хвостовой отсек из углепластика

Серьёзной проблемой при разработке явилось создание цельнопластикового узла, в котором торцевой стыковочный шпангоут изготавливается заодно целое с оболочкой и формируется в процессе намотки непосредственно на оправку. Проблема была решена путём создания принципиально новой технологии изготовления хвостового отсека с применением специальной оправки, имеющей подвижные днища. К моменту разработки хвостового отсека из углепластика такое техническое решение аналогов не имело.

Большую трудность при практическом изготовлении хвостового отсека в производстве представили вопросы его стыкуемости со смежными узлами. По условиям прочности в конструкцию торцевого стыковочного шпангоута была заложена структура композита, состоящая из углеродной нити и стеклоленты. Такое сочетание материалов приводило к тому, что после снятия заготовки хвостового отсека с оправки стыковочный шпангоут становился овальным. Максимальная овальность достигала 14 мм. Причиной этого служили внутренние напряжения, которые возникали в шпангоуте из-за разницы коэффициентов линейного термического расширения стеклопластика и углепластика. В результате проведенных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ для снятия внутренних напряжений был выбран режим дополнительной термообработки. Одновременно было предложено выполнять стыковочные отверстия непосредственно на оправке, не снимая с неё хвостовой отсек.

Созданный хвостовой отсек прошёл полный объём функциональной, прочностной и натурной отработки и впервые в отрасли был внедрён в серийные изделия.

В настоящее время в ГП «КБ «Южное» отработывается конструкция крупногабаритного межступенчатого отсека, имеющего форму усечённого конуса высотой ~ 4 м (рис. 3).



Рис. 3. Межступенчатый отсек из ПКМ

Оболочка межступенчатого отсека представляет собой трёхслойную конструкцию, состоящую из двух тонких углепластиковых обшивок и сотового наполнителя. В качестве исходных материалов углепластика используются углеродный жгут ТС 36S-12K и модифицированное эпоксидное связующее ЭДТ-69У.

Между обшивками располагается полимерный сотопласт ПСП-1-2,5. Нижний и верхний стыковочные шпангоуты Z – образной формы изготавливаются из углепластика на том же эпоксидном связующем.

Применение модифицированного эпоксидного связующего позволило улучшить липкость и эластичность препрега, сохраняющуюся в течение длительного времени (до 3 месяцев). Высокие адгезионные свойства препрега позволили перейти к бесклеевому способу изготовления трёхслойной сотовой конструкции оболочки отсека.

В процессе отработки решён ряд материаловедческих проблем:

- реализованы заданные физико-механические характеристики ПКМ в шпангоутах и оболочке отсека;

- обеспечена монолитность формируемого ПКМ путем внедрения технологии послойной выкладки с последовательным термовакуумным формованием;

- обеспечена совместная работа углепластиковых обшивок и сотового наполнителя.

Одним из направлений применения композиционных материалов являются неохлаждаемые сопловые насадки для жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) (рис. 4).

В ГП «КБ «Южное» разработана технология изготовления соплового насадка из углерод-угле-

родного композиционного материала (УУКМ) на основе углеродного волокнистого наполнителя трикотажной структуры, предназначенного для комплектации двигателя третьей ступени РН «Циклон-4».

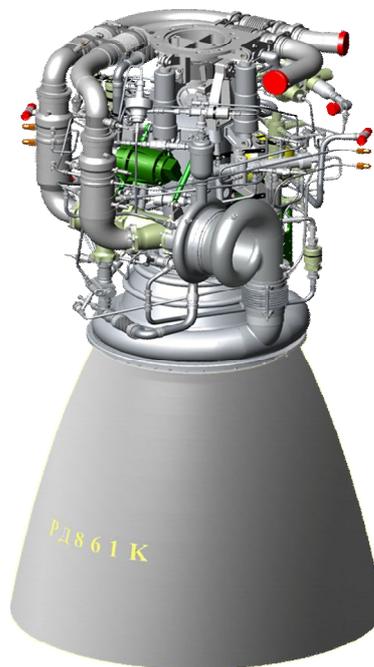


Рис. 4. ЖРД с насадком из УУКМ

Основные технологические переделы включают:

- изготовление чехлов из углеродного наполнителя;

- предварительную пропитку чехлов бакелитовым лаком;

- формование и механическую обработку углепластиковой заготовки;

- высокотемпературную обработку углепластиковых заготовок, включающую карбонизацию при температуре 850 °С, термообработку при – 1850 °С и предварительное пироуплотнение при – 950 °С в течение 50 часов;

- пироуплотнение при температуре 1000...1050 °С в течение 350 часов;

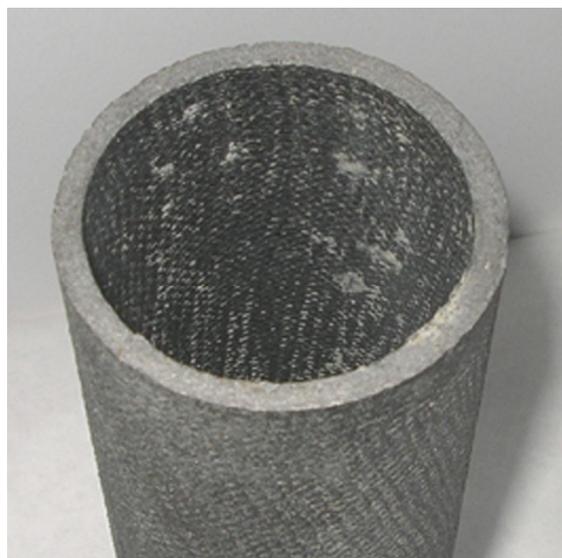
- нанесение герметизирующего и наружного защитного покрытия;

- сборка углерод-углеродного конуса с металлическими элементами крепления;

- неразрушающий контроль качества, обмер геометрических параметров и определение сдаточных характеристик насадка.

Исследования окислительной стойкости углерод-углеродного материала насадка, проведенные на воздухе и в потоке высокотемпературной плазмы, показали, что ожидаемый унос материала на основе углеродного трикотажа в условиях экспериментального двигателя за время его непрерывной работы не

превышает 0,1 мм. При воздействии высокотемпературной газовой струи наблюдается эрозия материала, величина которой изменяется по длине испытуемого образца и зависит от окислительной стойкости УУКМ и длительности испытаний. Состояние образцов углерод-углеродного материала насадка до и после испытаний на плазмотроне показано на рис. 5.



а



б

Рис. 5. Образцы углерод-углеродного материала до (а) и после (б) испытаний на плазмотроне

Неохлаждаемый сопловой насадок из углерод-углеродного материала обеспечивает заданные массовые и прочностные характеристики, обладает высокой эрозионной и окислительной стойкостью. Это подтверждено огневыми испытаниями экспериментальных насадков и статическими испытаниями камеры двигателя со штатным сопловым насадком.

В последние годы ГП «КБ «Южное» набирает опыт разработки и изготовления несущих конструк-

ций оптических приборов космического назначения (сканеров, телескопов, объективов).

Отличительной особенностью таких конструкций являются высокие требования по терморазмеростабильности (на уровне не более 0,1 мм/м) в условиях циклического изменения температуры от минус 150 до плюс 150°С.

При разработке объектива высокого разрешения для КА дистанционного зондирования Земли с целью достижения этих требований его основные несущие элементы выполнены из углепластика (рис. 6).



Рис. 6. Объектив КА из углепластика

Тубус объектива представляет собой цилиндрическую обечайку диаметром ~0,9м длиной ~1м со шпангоутами в виде утолщений на торцах обечайки. По внутренней поверхности тубуса клеены кольцевые диафрагмы. Корпус выполнен в виде прямоугольного толстостенного (~20мм) параллелепипеда (с размерами ~0,5х0,5х0,6м) с цилиндрической пластиной (диаметром ~0,9м) на одной из его граней. Заготовка тубуса изготовлена методом выкладки и автоматизированной намотки, заготовка корпуса изготовлена методом выкладки на оснастке с обеспечением заданной схемы армирования.

После механической обработки углепластиковых заготовок в корпус и тубус с помощью высокоточно выполненных кондукторов клеены титановые втулки, образующие посадочные поверхности оптических элементов.

Применение высокоточных кондукторов, обеспечивающих требуемый допуск плоскостности, вза-

имной параллельности и перпендикулярности посадочных поверхностей оптических элементов, позволило избежать механической обработки, нежелательной для конструкции с клеевыми соединениями.

Как показал расчет, точность взаимного положения посадочных мест оптических элементов объектива, в котором используются изготовленные тубус и корпус, при условиях эксплуатации составляет порядка 0,01мм. В настоящее время проводятся оптические испытания объектива.

Наряду с крупногабаритными узлами в КБ разработано и внедрено в изделия большое количество различного рода вставок, обтюраторов, крышек, экранов и других сборочных единиц, выполненных из

полимерных композиционных материалов, для ракет-носителей и космических аппаратов.

Выводы

Таким образом, за годы, прошедшие с начала применения в разработках ГП «КБ «Южное» ПКМ, проектантами, конструкторами и технологами накоплен большой практический опыт использования композитов, найден ряд оригинальных конструкторско-технологических решений, применены новые высокоэффективные материалы и уникальные технологические процессы, позволившие создать конструкции высокого весового совершенства.

Поступила в редакцию 12.04.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. ракетно-космических двигателей и энергоустановок летательных аппаратов А.В. Гайдачук, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского «ХАИ», Харьков.

ЗАСТОСУВАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ СТВОРЕННІ ПЕРСПЕКТИВНИХ ЗРАЗКІВ РАКЕТНОЇ ТЕХНІКИ

О.В. Дегтярьов, В.О. Коваленко О.М.Потапов

Проведено огляд застосування полімерних композиційних матеріалів на Державному підприємстві «Конструкторське бюро» Південне» ім. М.К. Янгеля. Виділено основні напрями використання композитів у виробі вітчизняної ракетно-космічної техніки. Відзначається, що в ДП «КБ» Південне» накопичено великий практичний досвід використання полімерних композиційних матеріалів, знайдено ряд оригінальних конструкторсько-технологічних рішень, застосовано унікальні технологічні процеси, що дозволили створити конструкції високої вагової досконалості

Ключові слова: полімерний композиційний матеріал, ракетно-космічна техніка, силові конструкції, РДТП, ЖРД, відсік.

COMPOSITE MATERIALS THE APPLICATION FOR CREATING THE ADVANCED MODELS OF MISSILES

A.V. Degtyarev, V.A. Kovalenko, A.M. Potapov

A review the held of polymeric composite materials at the Yangel Yuzhnoye state design office. The basic directions identified of use of composites in products of the national rocket and space technology. It is noted, that in the Yuzhnoye SDO accumulated considerable practical experience the use of polymer composite materials, founded a number of original design and technological solutions, was applied the unique processes that allowed construction of a high the weight perfect.

Keywords: polymeric composite material, rocket and space technology, power structures, SPRE (solid propellant rocket engine), LRE (liquid rocket engine), section.

Дегтярев Александр Викторович – канд. техн. наук, Генеральный конструктор – Генеральный директор, Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля», Днепропетровск, Украина.

Коваленко Виктор Александрович – канд. техн. наук, начальник лаборатории, Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля», Днепропетровск, Украина.

Потапов Александр Михайлович – канд. техн. наук, начальник комплекса новых материалов и перспективных технологий, Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля», Днепропетровск, Украина.