

УДК 629.7.002:621.762

А.М. Зиновьев,
А.П. Кушнарев,
А.В. Кондратьев, канд. техн. наук,
А.М. Потапов, канд. техн. наук,
А.П. Кузнецов, канд. техн. наук,
В.А. Коваленко, канд. техн. наук

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОРПУСА ОПЫТНОГО КРУПНОГАБАРИТНОГО МЕЖСТУПЕННОГО ОТСЕКА РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ «ЦИКЛОН-4» ИЗ УГЛЕПЛАСТИКОВ

Введение

В настоящее время проблема расширения диапазона эффективных конструктивно-технологических решений (КТР) агрегатов ракетно-космической техники (РКТ) из полимерных композиционных материалов (ПКМ), открывающих новые широкие возможности повышения их эффективности, является весьма актуальной во всем мире [1], в том числе и для ракетно-космической отрасли Украины [2]. Эта проблема нашла отражение и в наших работах, например [3 – 8].

Так, в работах [7, 8] дано описание конструктивно-технологических решений (КТР) опытного межступенного отсека (МСО) ракеты-носителя (РН) «Циклон-4» разработки Государственного предприятия «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля» с несущими обшивками из углепластика и сотами. Для нормированных случаев нагружения приведены результаты исследований напряженно-деформированного состояния отсека в регулярной зоне, а также фрагмента его стыка, состоящего из шпангоута и впервые разработанного соединительного композитного фитинга. Полученные результаты подтвердили регламентированную несущую способность и жесткость МСО из ПКМ при нормальной температуре и нагреве наружной обшивки до 100°C.

Данная статья посвящена краткому описанию технологического процесса изготовления корпуса опытного МСО из ПКМ. Данная технология реализована при изготовлении агрегата, прошедшего цикл операций неразрушающего контроля, для проведения статических испытаний.

Технологический процесс изготовления корпуса опытного МСО

Опытный МСО 2 - 3 ступеней РН «Циклон-4» выполнен в виде усеченного конуса высотой 4014 мм с диаметром нижнего основания 3000 мм, а верхнего – 3980 мм (рис. 1).

Корпус МСО из ПКМ состоит из оболочки, верхнего и нижнего стыковочных шпангоутов, в местах размещения разрывных болтов в верхний стыковочный шпангоут клеены углепластиковые фитинги с клееными стальными опорными пластинами и втулками. Расположение отверстий на стыковочных шпангоутах соответствует металлическому прототипу МСО.

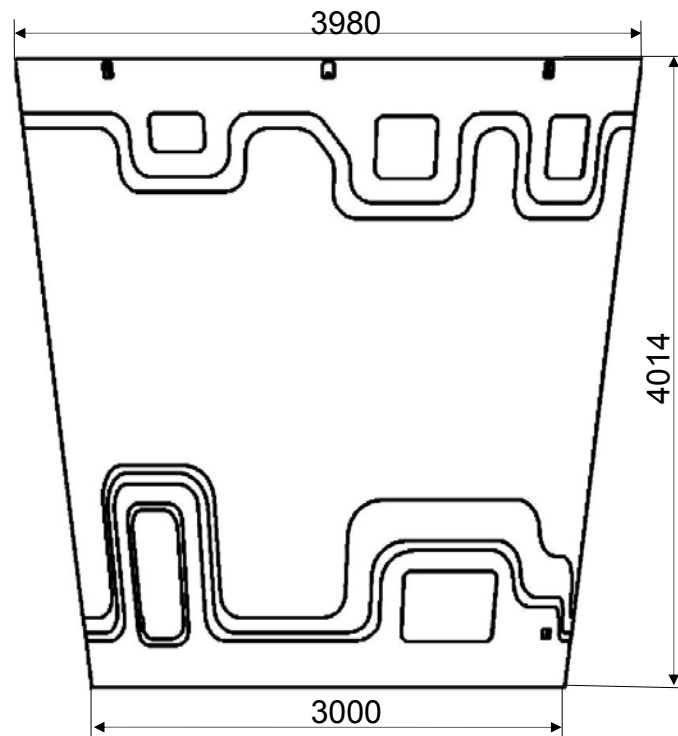


Рисунок 1 – Общий вид опытного МСО РН «Циклон-4» из углепластика

Технология изготовления корпуса МСО из ПКМ включает в себя следующие основные операции:

- изготовление препрега на основе углеродного наполнителя;
- изготовление пакетов углеродного препрега;
- формование заготовок для окантовок;
- изготовление верхнего и нижнего стыковочных шпангоутов;
- формование трёхслойной оболочки МСО и накладки;
- изготовление углепластиковых фитингов (8 шт.) для шпангоута;
- клейку фитингов в оболочку МСО;
- механическую обработку;
- клейку комплектующих;
- неразрушающий контроль качества МСО;
- взвешивание корпуса МСО из ПКМ.

Для изготовления препрега использовали углеродное волокно ТС 36S-12K и эпоксидное связующее ЭДТ-69У ТУ У 23981176.018-2011. Исходные материалы удовлетворяли требованиям технической документации на их поставку.

Препрег изготавливали на намоточном станке с программным управлением путем намотки углеродной ленты, состоящей из пяти углеродных жгутов, на цилиндрическую оправку диаметром 2,6 м (рис. 2).

Предварительно проводилась пропитка углеродной ленты при прохождении ее через ванночку со связующим.

Оборудование, оснастка и приспособления, предусмотренные технологической документацией и предназначенные для изготовления препрега, паспортно-испытаны.

Препрег имел следующие характеристики: содержание смолы – $42\pm 8\%$; содержание летучих – $6\pm 4\%$.

В процессе намотки на препреге допускались нахлесты и зазоры между нитями сформированной углеродной ленты до 1,5 мм.

Технология выкладки пакетов углеродного препрега включала в себя:

- вырезку из препрега основы для выкладки пакета необходимого размера (слой с направлением нити 0°);
- разрезку препрега на полосы размером 300...400 мм для выкладки слоев $\pm 45^\circ$;
- выкладку полос слоя $\pm 45^\circ$ (ориентирование полосы – с помощью шаблона);
- выкладку слоя 0° или 90° .



Рисунок 2 – Изготовление препрега путем намотки углеродной ленты на цилиндрическую оправку



Рисунок 3 – Выкладка пакетов из препрега

Технология изготовления окантовок усиления (рис. 4) состояла из следующих операций:

- изготовления пакетов для вырезки заготовок;
- вырезки заготовок для выкладки;
- подготовки оснастки;
- выкладки заготовок на оснастку;
- сборки на режим полимеризации;
- проведения режима полимеризации окантовки;
- механообработки окантовки (снятие облоя).

Выкладку и формование нижнего шпангоута проводили на оснастке по схеме армирования детали:

- для наружных слоев – $(0^\circ, \pm 45^\circ, 0^\circ)$;
- для внутренних слоев – $(0^\circ, \pm 45^\circ, 90^\circ)$.

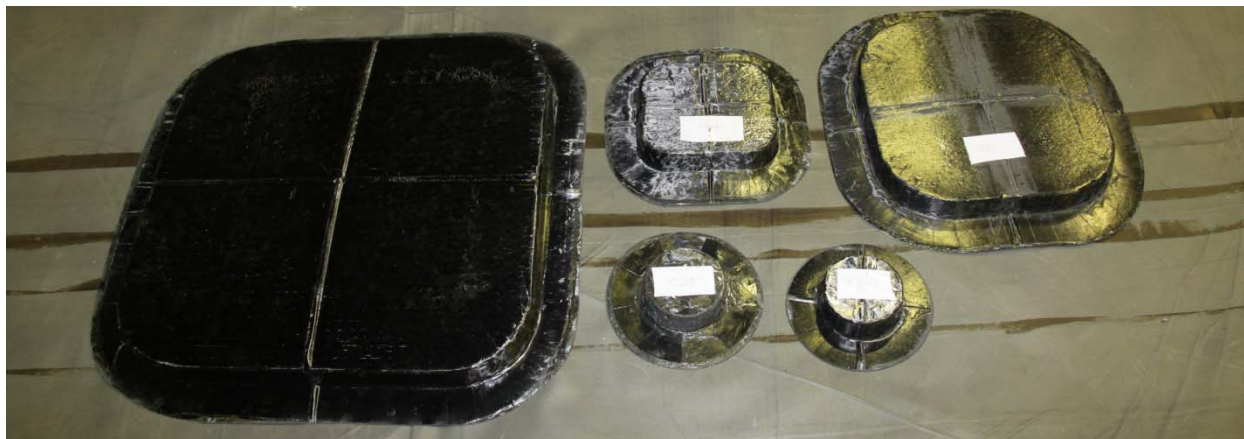


Рисунок 4 – Окантовки усиления

Из пакетов с указанной схемой армирования по шаблонам вырезались заготовки для укладки их на формообразующую поверхность оправки и набора переменной толщины шпангоута. Выкладку заготовок проводили встык со смещением стыков в каждом последующем слое. Всего было уложено 18 основных слоев и 5 дополнительных по торцу шпангоута. В процессе выкладки заготовок осуществляли подпрессовку выложенных слоев для удаления летучих и их уплотнения. Подпрессовку выполняли в вакуумном мешке под вакуумом не менее 60 кПа при температуре 80°C – 1 час, после подпрессовок проводили режим полимеризации под вакуумом не менее 60 кПа и температуре 130°C – 6 часов. После режима полимеризации деталь взвешивали и измеряли толщину на соответствие требованиям. Масса детали – 22,9 кг.

Аналогично проводилось формование верхнего шпангоута. Из пакетов со схемой армирования (0°, ±45°, 90°) по шаблонам вырезались заготовки для укладки их на формообразующую поверхность оправки для набора переменной толщины. Всего было уложено 15 основных слоев и 9 дополнительных. Масса детали – 36,7 кг. По результатам замеров было отмечено превышение толщины по торцу шпангоута в пределах допусков, рекомендованных нами в работах [9, 10].

Работы по изготовлению оболочки проводились по следующему технологическому процессу и включали в себя операции:

- установки на оправку верхнего, нижнего шпангоутов и окантовок (рис. 5);
- заполнения гелькоутом зазоров между оправкой и законцовками шпангоутов и окантовок;
- выкладки слоев внутренней обшивки (рис. 6);
- выкладки на внутреннюю обшивку усилений шпангоутов и люков;
- установки на обшивку сотового заполнителя и вкладышей из пенопласта (рис. 7);
- проведения режима полимеризации внутренней обшивки;

– выкладки слоев наружной обшивки через пленочный клей ВК-36 (рис. 8);

– выкладки усилений наружной обшивки;

– формования и полимеризации наружной обшивки оболочки.

Схема армирования внутренней и наружной обшивок с учетом усилений:

– для толщины 0,99 мм – $(0^\circ, +45^\circ, -45^\circ, 90^\circ, 0^\circ, 90^\circ, -45^\circ, +45^\circ, 0^\circ)$;

– для толщины 1,1 мм – $(0^\circ, +45^\circ, -45^\circ, 90^\circ, 0^\circ, 0^\circ, 90^\circ, -45^\circ, +45^\circ, 0^\circ)$;

– для толщины 1,65 мм – $(0^\circ, +45^\circ, -45^\circ, 90^\circ, 0^\circ, 0^\circ, 90^\circ, -45^\circ, +45^\circ, 0^\circ, 0^\circ, +45^\circ, -45^\circ, 90^\circ, 0^\circ)$;

– для толщины 2,2 мм – $(0^\circ, +45^\circ, -45^\circ, 90^\circ, 0^\circ, 0^\circ, 90^\circ, -45^\circ, +45^\circ, 0^\circ)$.



Рисунок 5 – Установка на оправку шпангоутов и окантовок люков



Рисунок 6 – Выкладка слоев внутренней обшивки МСО

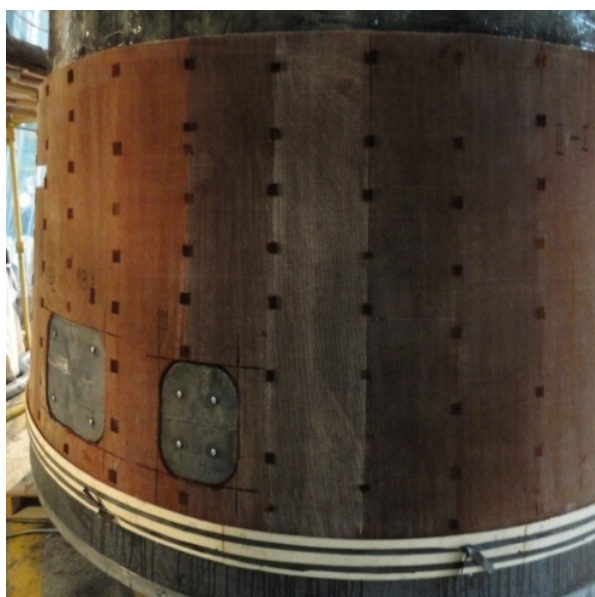


Рисунок 7 – Установка на обшивку СЗ и вкладышей из пенопласта



Рисунок 8 – Выкладка слоев наружной обшивки МСО

Внутренняя обшивка, состоящая из двух основных слоев и усиленных, формировалась из пакетов препрега со схемой армирования ($0^\circ, \pm 45^\circ, 90^\circ, 0^\circ$).

Выкладку заготовок первого слоя проводили встык, вырезая по шаблону места установки окантовок. Затем вырезали заготовки второго слоя и укладывали на первый слой после проведения его сушки. Выкладку осуществляли со смещением на 150 мм относительно стыков заготовок первого слоя.

Для упрочнения внутренней и наружной обшивок в местах установки верхнего и нижнего шпангоутов и люков на обшивку выкладывали усиления.

Раскрой усиленных выполняли по шаблону. Выкладку усиленных проводили в соответствии со схемой выкладки и привязкой к разметке на установочных кольцах.

На внутреннюю обшивку устанавливали раскроенный сотовый наполнитель (СЗ) ПСП-1-2,5-45. Затем стороны сотоблоков зашкуривали и производили сухую сборку блоков.

На поверхность внутренней обшивки наносили клеящий состав, состоящий из связующего ЭДТ-69У и наполнителя Аэросил, на обшивку устанавливали сотовый наполнитель с вкладышами из пенопласта Divi-pusell HP80 40. СЗ и вкладыши фиксировали на обшивке стеклолентой. Формование и полимеризацию внутренней обшивки осуществляли под вакуумом не менее 60 кПа при температуре 130°C – 6 часов. После проведения режима полимеризации внутренней обшивки проводили подрезку вкладышей из пенопласта и зашкуривание СЗ.

Наружная обшивка, состоящая из двух основных слоев и усиленных в зоне верхнего и нижнего шпангоутов, формировалась следующим образом. Из пакета со схемой армирования ($0^\circ, \pm 45^\circ, 90^\circ, 0^\circ$) вырезали заготовки первого слоя обшивки. Выкладку заготовок первого слоя наружной обшивки проводили через пленочный клей ВК-36, уложенный на поверхность СЗ. Затем производили подпрессовку первого слоя под вакуумом при температуре 60°C в течение трех часов. При подпрессовке первого слоя использовали обкладные листы из ламинированного пробкового покрытия и листов резины. Выкладку заготовок второго слоя из пакетов препрега со схемой армирования ($0^\circ, \pm 45^\circ, 90^\circ$) проводили встык со смещением относительно стыков первого слоя на 200 мм.

Пакеты из препрега для выкладки усиленных выкладывали на шаблонах послойно по контуру соответствующего слоя с учетом направления углеродной нити в слое. Выкладку пакетов на внутреннюю обшивку проводили по схеме выкладки усиленных. Формование и полимеризацию наружной обшивки вели под вакуумом не менее 60 кПа при температуре 130°C – 6 часов. Для упрессовки покрытия и формования поверхности обшивки использовали обкладные листы.

Фитинг представляет собой трехслойную конструкцию с наполнителем, состоящую из внутренней и внешней обшивок, наполнителя, передней пластины, боковых законцовок и стакана [11, 12].

В качестве материала внутренней и внешней обшивок были выбраны углепластик на основе углеродного жгута STS 40 1600 TEX фирмы «ТОНО TENAX» толщиной монослоя 0,15 мм и углепластик на основе углеродной ткани (200 г/м²) фирмы «Porcher Industries Composites» толщиной монослоя 0,22 мм.

В качестве наполнителя был выбран конструкционный пенопласт Rohacell 31 IG. Для боковых законцовок и облицовки использован углепластик на основе ткани фирмы «Porcher Industries Composites» (200 г/м²). Передняя пластина и стакан изготовлены из углепластика на основе углеродного жгута STS 40 1600 TEX фирмы «Тоно Тенак». Связующее – ЭДТ-69У. Изготовление фитинга проводилось на специальной оснастке из препрега на основе углеволокна и углеткани. После выполнения этих операций устанавливали верхнюю часть матрицы и осуществляли полимеризацию заготовки, извлечение детали и ее механическую обработку. Процесс изготовления фитинга, а также его отдельные части представлены на рис. 9 – 4. Масса фитинга составила 880 г.



Рисунок 9 – Матрица



Рисунок 10 – Заполнитель с обшивкой

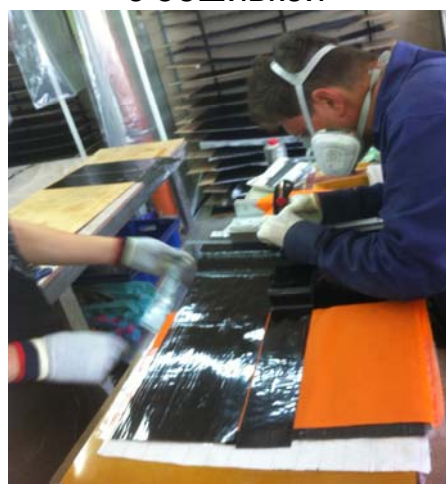


Рисунок 11 – Укладка и раскрой препрега

Вклейка восьми углепластиковых фитингов в шпангоут верхней оболочки МСО выполнялась на эпоксидном клее «Эпотерм-03т». Базирование фитингов, клеиваемых в верхний шпангоут, осуществлялось по отверстиям в верхнем шпангоуте и торцевой поверхности фитингов. Отверстия в верхнем шпангоуте выполнялись по кондукторному кольцу, а отверстия в торцевой поверхности фитингов – с помощью кондуктора, базирующегося по карману фитинга. Фиксация этих деталей на шпангоутах, а также создание усилия на склеиваемые поверхности при вклейке фитингов обеспечивались спецболтами и струбцинами.

Механическая обработка корпуса МСО из ПКМ заключалась в выполнении следующих операций:

- подготовка заготовок СЗ ПСП-1-2,5-45 (зашкуривание торцов, обрезка под углом 45° , обрезка по контуру в размер);
- вырезка верхнего и нижнего вкладышей из пенопласта;
- обрезка окантовок в размер по контуру;
- выполнение предварительных вырезов в окантовках;
- выполнение окончательных вырезов и отверстий в окантовках;
- сверление стыковочных отверстий в шпангоутах;
- сверление отверстий в боковой поверхности оболочки под установку и вклейку металлических комплектующих;
- зенкование стыковочных отверстий (8 шт.) в верхнем шпангоуте под вклейку втулок и опорных пластин.

Операции обрезки заготовок СЗ и вырезки пенопластовых вкладышей выполнялись на вертикальном ленточнопильном станке.

Для обеспечения собираемости корпуса МСО из ПКМ с ответными узлами стыковочные отверстия в шпангоутах выполняли по согласованным кондукторам. Базирование кондукторов на торцах шпангоутов осуществляли по установочным отверстиям, согласованным с отверстиями установочных колец крепления верхнего и нижнего шпангоутов МСО оправки для изготовления заготовки МСО.

Требуемое расположение осей люков и отверстий, выполняемых в окантовках, достигалось выполнением последовательных операций:

- разметкой осевых линий расположения окантовок на наружной поверхности корпуса оправки для изготовления заготовки МСО по шаблонам от заданных базовых поверхностей (оси стабилизации и торца соответствующего шпангоута);
- разметкой осевых линий оправок для изготовления окантовок и переноса их на наружную поверхность соответствующих окантовок;
- выполнением предварительных вырезов в окантовках, устанавливаемых от плоскостей стабилизации по шаблонам, базируемым по внутренней поверхности окантовки;
- установкой окантовок на наружную поверхность оправки с совмещением осевых линий, нанесенных на окантовки и размеченных на наружной поверхности корпуса оправки;

– выполнением окончательных вырезов и отверстий по шаблонам, базируемым по внутренней поверхности окантовки.

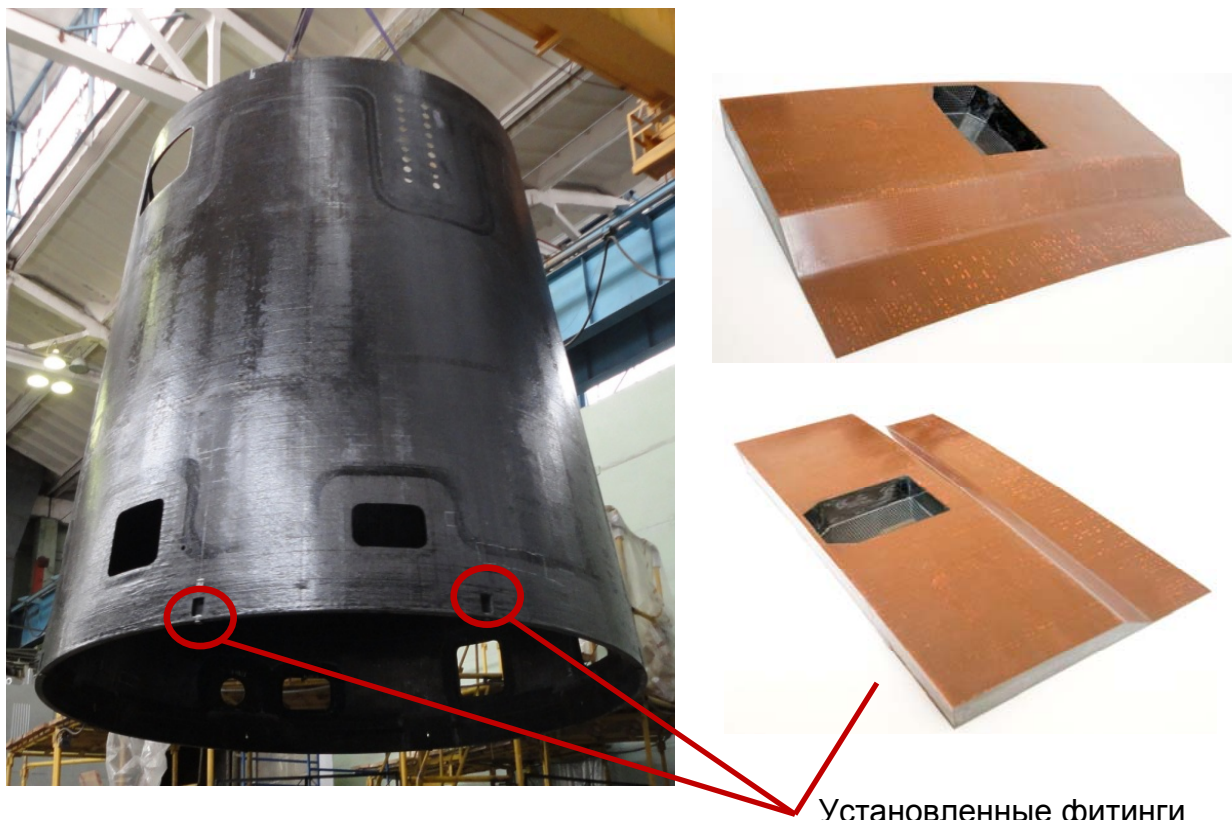
Предварительные вырезы в окантовках снимают остаточные напряжения в окантовках, а также исключают возможность образования местных отслоений наружной обшивки от поверхности окантовок в процессе полимеризации оболочки. Принятая технология обеспечила точность расположения осей люков и отверстий ± 2 мм.

Сборочные работы по вклейке комплектующих включали в себя следующие операции:

- вклейка углепластиковой накладки в нижний шпангоут;
- вклейка металлических комплектующих (втулок и пластин опорных) в верхний шпангоут;
- вклейка втулок в боковую поверхность оболочки;
- установка втулки металлизации в нижний шпангоут.

Для склейки указанных деталей применялся эпоксидный клей «Эпотерм-03т». Базирование металлических комплектующих, вклеиваемых в верхний шпангоут, осуществлялось по предварительно выполненным в нем отверстиям и по торцевой поверхности углепластиковых фитингов.

МСО РН с установленными фитингами для проведения натурных испытаний показан на рис. 12.



Установленные фитинги

Рисунок 12 – Межступенной отсек ракеты-носителя с установленными фитингами для проведения натурных испытаний

Для контроля качества трехслойного сотового МСО из ПКМ применялись следующие методы неразрушающего контроля: ультразвуковой ручной амплитудный теневой и импедансный ручной амплитудный.

На внутренней поверхности в пределах чувствительности методов дефекты не обнаружены. На наружной поверхности обнаружены дефекты, процентное отношение суммарной площади которых на их наружной поверхности к контролируемой площади составляет 0,83 %.

Взвешивание узла проводили с помощью динамометра ДПУ-0,5-2. Масса корпуса МСО из ПКМ составила 387,3 кг, что на 121 кг легче аналогичного металлического отсека.

Выводы

1. Разработан и апробирован технологический процесс изготовления корпуса опытного межступенного отсека ракеты-носителя «Циклон-4» трехслойной конструкции с сотовым наполнителем из полимерной бумаги.

2. Технология производства изделия реализована при изготовлении опытного отсека, успешно прошедшего статические испытания, и может быть рекомендована к дальнейшему использованию при запуске изделия в серийное производство.

Список использованных источников

1. Кондратенко, А.Н. Полимерные композиционные материалы в изделиях зарубежной ракетно-космической техники (Обзор) [Текст] / А.Н. Кондратенко, Т.А. Голубкова // Конструкции из композиционных материалов. – 2009. – № 2. – С. 24 – 35.

2. Ситало, В.Г. Композиционные материалы в разработках ГKB «Южное» [Текст] / В.Г. Ситало, Т.Н. Литвишко // Теория и практика технологий производства изделий из композиционных материалов и новых металлических сплавов – 21 век: сб. материалов междунар. конф., Москва 30 января – 2 февраля 2001 г. / под ред. К.В. Фролова, И.Ф. Образцова, О.С. Сироткина, В.С. Боголюбова. – М.: Знание, 2001. – С. 107 – 115.

3. Дегтярев, А.В. Применение композиционных материалов при создании перспективных образцов ракетной техники [Текст] / А.В. Дегтярев, В.А. Коваленко, А.В. Потапов // Авиационно-космическая техника и технология. – 2012. – № 2(89). – С. 34 – 38.

4. Коваленко, В.А. Применение полимерных композиционных материалов в изделиях ракетно-космической техники как резерв повышения ее массовой и функциональной эффективности [Текст] / В.А. Коваленко, А.В. Кондратьев // Авиационно-космическая техника и технология. – 2011. – № 5(82). – С. 14 – 20.

5. Кондратьев, А.В. Состояние проблемы научного обеспечения эффективной технологии производства агрегатов ракетно-космической техники из полимерных композиционных материалов [Текст] / А.В. Кондратьев, В.А. Коваленко // Авиационно-космическая техника и

технология. – 2011. – № 6(83). – С. 17 – 25.

6. Научное обеспечение создания высокоэффективных образцов ракетно-космической техники из полимерных композиционных материалов [Текст] / А.М. Потапов, В.А. Коваленко, В.Е. Гайдачук, В.В. Кириченко, А.В. Кондратьев // Композиционные материалы в промышленности: сб. материалов 33 междунар. науч.-практ. конф., Ялта 27-31 мая 2013 г. / Украинский информационный Центр «Наука. Техника. Технология». – К., 2013. – С. 458 – 460.

7. Технологические особенности изготовления крупногабаритных трехслойных сотовых конструкций из полимерных композиционных материалов [Текст] / А.М. Потапов, Ю.Г. Артеменко, В.К. Москалец и др. // Эффективность сотовых конструкций в изделиях авиационно-космической техники: сб. материалов V междунар. науч.-практ. конф., Днепропетровск 5 - 7 июня 2013 г. / Укр. НИИ технологий машиностроения. – Днепропетровск, 2013. – С. 155 – 159.

8. Конструктивно-технологическое решение и несущая способность опытного межступенного отсека ракеты-носителя «Циклон-4» из полимерных композиционных материалов [Текст] / А.М. Зиновьев, А.П. Кушнарев, А.В. Кондратьев, А.М. Потапов, А.П. Кузнецов, В.А. Коваленко // Авиационно-космическая техника и технология. – 2013. – №3(100). – С. 46 – 53.

9. Коваленко, В.А. Исследование технологических дефектов, возникающих в производстве агрегатов ракетно-космической техники из полимерных композиционных материалов. Сообщение 1. Допуски на отклонения толщины формуемого изделия от проектного значения [Текст] / В.А. Коваленко // Авиационно-космическая техника и технология. – № 3(90). – 2012. – С. 10 – 12.

10. Коваленко, В.А. Исследование технологических дефектов, возникающих в производстве агрегатов ракетно-космической техники из полимерных композиционных материалов. Сообщение 2. Допуски на нарушения сплошности материала и локальные поводки изделия [Текст] / В.А. Коваленко // Авиационно-космическая техника и технология. – 2012. – № 4(91). – С. 5 – 15.

11. Композитный фитинг системы разделения отсеков ракеты-носителя [Текст] / В.В. Гаврилко, А.В. Кондратьев, А.М. Потапов В.А. Коваленко // Эффективность сотовых конструкций в изделиях авиационно-космической техники: сб. материалов V междунар. науч.-практ. конф., Днепропетровск 5-7 июня 2013 г. – Днепропетровск, 2013. – С. 71 – 76.

12. Заявка № а 2012 11211. Украина. Фітинг та спосіб його виготовлення [Текст] / О.М. Зінов'єв, О.П. Кузнецов, В.В. Гаврилко, О.М. Потапов, В.О. Коваленко, М.Ф. Ребров, Д.В. Клеменко – 7 с.

Поступила в редакцию 16.06.2013.

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Е. Гайдачук,
Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков.*