

УДК 621.454.3.035.5

Максименко И. В., Брынза М. Б., Потапов А. М.

Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М. К. Янгеля. Украина,
г. Днепр

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СОПЛА МАРШЕВОЙ ТВЕРДОТОПЛИВНОЙ ДВИГАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Изложены технологические особенности изготовления сопла маршевой твердотопливной двигательной установки. Рассмотрена конструкция сопла. Указаны рисунки комплектующих сопла. Приведены основные технологические операции изготовления сопла маршевой твердотопливной двигательной установки. Проведен контроль выходных геометрических параметров сопла.

Ключевые слова: сопло; корпус в сборе; раструб в сборе; механическая обработка; сборка-склейка; контроль; намотка; критическое сечение.

Введение

Сопло – часть ракетного двигателя, смежная с камерой сгорания, имеющая переменное сечение и предназначенная для разгона газов до определённой скорости и придания потоку требуемого направления [1, 2]. Сопло является самым теплонапряженным элементом двигателя, испытывающим теплоэрозионные нагрузки от высокоскоростного и высокотемпературного двухфазного потока. Сопло условно разделяют на три основные части:

- входной участок;
- критическое сечение;
- выходной участок.

Каждый из этих участков характеризуется специфическими условиями нагружения и конструктивно включает в себя:

- воротник, служащий для теплоэрозионной защиты участка, формирующего газовый поток перед входом в критическую зону;
- вкладыш критического сечения из эрозионно-стойкого материала;
- теплозащитную подложку, выполняющую роль теплоотвода от силового корпуса сопла;
- раструб – выходной участок сопла.

Постановка задачи

В настоящее время перед Государственным предприятием «Конструкторское бюро «Южное» стоит задача по изготовлению сопел твердотопливных двигателей. Она включает в себя изготовление высокотехнологичной оснастки с помощью, которой достигаются требуемые геометрические параметры деталей сопла, отработку технологии изготовления углепластиковых заготовок и режимы их полимеризации, а также выбор режимов резания и режущего инструмента для их механической обработки.



Рис. 2. Корпус сопла



Рис. 1. Сопло на технологической подставке

Основная часть

Общий вид сопла представлен на рисунке 1.

Конструктивно сопло маршевой твердотопливной двигательной установки состоит из:

- корпуса сопла;
- теплозащитной подложки;
- вкладыша критического сечения;
- воротника;
- корпуса раструба;
- раструба;
- армирующей оболочки;
- корпуса заглушки;
- заглушки;
- уплотнительных колец.

Корпус сопла и корпус раструба (рисунки 2, 3) изготавливаются из жаропрочной нержавеющей стали.



Рис. 3. Корпус раструба

Корпус заглушки и заглушка изготавливаются из сплава алюминиевого АМг6 и алюминия АД1 соответственно (рисунок 4).



Рис. 4. Корпус заглушки (слева) и заглушка (справа)

Заготовки теплозащитной подложки изготавливаются из пресс-материала ДСВ-2Л методом прямого горячего прессования, вкладыша критического сечения – из углерод-углеродного композиционного материала 3D структуры на основе нити углеродной конструкционной методом ручного плете-

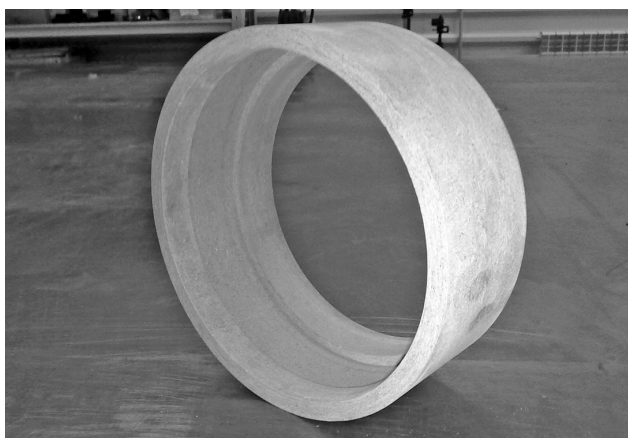


Рис. 5. Теплозащитная подложка

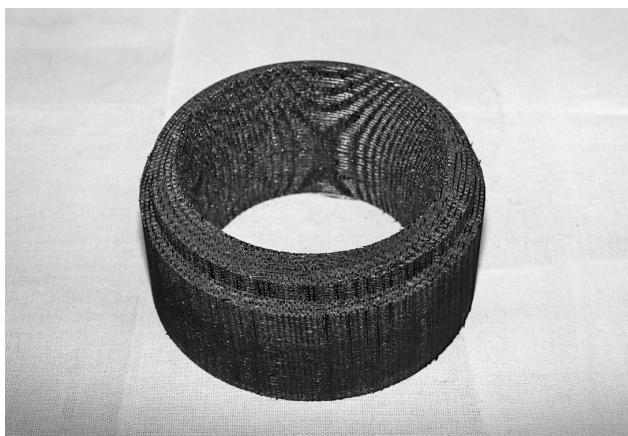


Рис. 7. Вкладыш критического сечения

ния с последующим насыщением пироуглеродом, воротника и раструба – из углепластика на основе углеродного волокнистого материала УРАЛ и лака бакелитового методом выкладки на формообразующей оправке с последующим отверждением под давлением и вакуумом.

Технология изготовления сопла твердотопливного двигателя включала в себя следующие основные операции:

- механическую обработку заготовки подложки (рисунок 5), вклейку подложки в корпус сопла (рисунок 6), с последующей механической обработкой корпуса с подложкой под вклейку вкладыша и неразрушающим контролем качества клеевого соединения;

- механическую обработку заготовки вкладыша (рисунок 7), вклейку вкладыша в корпус с подложкой с последующей механической обработкой корпуса с вкладышем, под вклейку воротника (рисунок 8), и неразрушающим контролем качества клеевого соединения;

- испытание на герметичность корпуса с вкладышем сжатым воздухом;

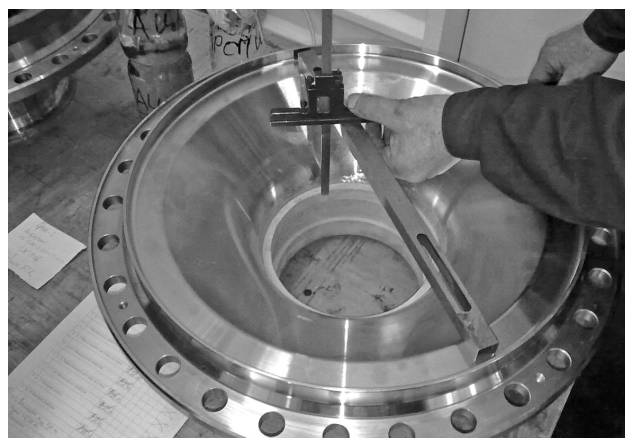


Рис. 6. Вклейка подложки в корпус сопла



Рис. 8. Подготовка корпуса с вкладышем под вклейку воротника



Рис. 9. Воротник

- механическую обработку заготовки воротника (рисунок 9) на формообразующей оправке, съем воротника с формообразующей оправки, вклейку воротника в корпус с вкладышем с последующей механической обработкой корпуса в сборе и неразрушающим контролем качества клеевого соединения;
- испытание на герметичность корпуса в сборе сжатым воздухом;
- механическую обработку заготовки раструба на формообразующей оправке (рисунок 10) с последующей сборкой-склейкой корпуса раструба с раструбом;
- установку ложного днища и намотку армирующей оболочки на наружную поверхность раструба;
- подрезку и извлечение ложного днища, механическую обработку раструба в сборе, съем раструба в сборе с формообразующей оправки и выполнение неразрушающего контроля качества материала;



Рис. 10. Раструб на формообразующей оправке

- сборку-склейку корпуса в сборе с раструбом в сборе (рисунки 11, 12);
- контроль ВГП сопла с применением универсальных измерительных средств, специальной оснастки и координатно-измерительного комплекса;
- испытание на герметичность сопла сжатым воздухом;
- вклейку корпуса заглушки;
- испытание на герметичность вклейки корпуса заглушки сжатым воздухом;

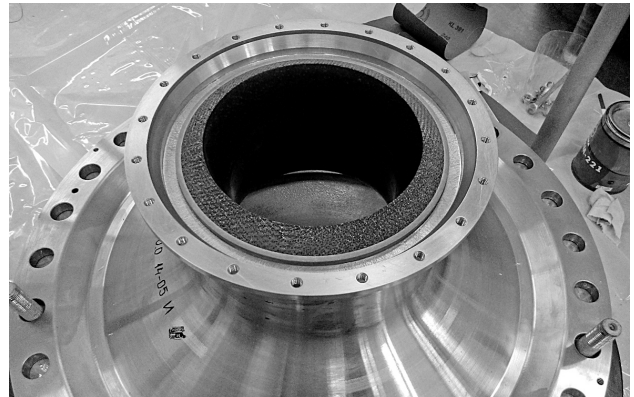


Рис. 11. Корпус в сборе перед склейкой с раструбом в сборе



Рис. 12. Установка уплотнительного кольца и нанесение клея на раструб в сборе

- установку заглушки;
- испытание на герметичность установки заглушки сжатым воздухом;
- маркировку, взвешивание, клеймение и установку сопла в тару транспортировочную.

Для вклейки подложки в корпус сопла и вклейки вкладыша в корпус с подложкой использовался клей холодного отверждения марки ЭПОФЛЕКС-04. Для вклейки воротника в корпус с вкладышем, сборки-склейки корпуса раструба с раструбом, сборки-склейки корпуса в сборе с раструбом в сборе и вклейки корпуса заглушки использовался клей холодного отверждения марки ЭПОТЕРМ-03т тип А.



Рис. 13. Подготовка раструба к намотке армирующей оболочки

Механическая обработка заготовок вкладыша, воротника и раструба производилась на высокоточных станках с числовым программным управлением вследствие чего критическое сечение вкладыша, а также наружные профили воротника и раструба были выполнены с высокой точностью.

НК качества клеевых соединений выполнялся ультразвуковым дефектоскопом типа УД 22-УМ в комплекте с ручными ультразвуковыми датчиками частотой 200 кГц.

Намотка армирующей оболочки раструба производилась на специальном намоточном станке MAW 20 FB5/1 с программным управлением (рисунки 13, 14). Материал армирующей оболочки – углепластик на основе углеродного волокна и эпоксидного связующего. Намотка выполнялась в соответствии с заданной схемой армирования. В процессе намотки определялись и контролировались следующие технологические параметры:

- содержание связующего в ленте;
- температура связующего в пропиточной ванночке;
- натяжение углеродных волокон в ленте спирального слоя;
- ширина углеродной ленты при намотке.

После выполнения операции намотки армирующей оболочки укладывали технологическую рубашку.

Заготовку раструба с намотанной армирующей оболочкой устанавливали в печь аэродинамического подогрева и проводили режим полимеризации заготовки.

Контроль ВГП сопла производился контрольно-измерительной машиной Faro Edge Arm 2,7 с



Рис. 14. Раструб после намотки армирующей оболочки

погрешностью измерения 0,041 мм. Контроль массы сопла и его элементов осуществлялся на весах марки ВПЕ «ЦЕНТРОВЕС» – 60-405 СМ.

В процессе работ были проконтролированы следующие параметры сопла:

- диаметр критического сечения;
- диаметр выходного сечения раструба сопла;
- эксцентриситет оси сопла;
- угловой перекося оси сопла в плоскости критического сечения;
- масса сопла.

Выводы

В результате выполненных работ была отработана технология изготовления заготовок деталей сопла маршевой твердотопливной двигательной установки из композитов. Отработана технология клее-сборочных работ. Выбраны оптимальные режимы резания для обработки неметаллических заготовок. Спроектирована и изготовлена необходимая технологическая оснастка. Обеспечены требуемые значения выходных геометрических параметров и массы сопла в соответствии с требованиями КД. Проведен НК качества клеевых соединений и материала, а также контроль герметичности ДСЕ сопла.

Литература

- [1] Фахрудинов И. Х., Котельников А. В. Конструкция и проектирование ракетных двигателей твердого топлива, Машиностроение, 1987.
- [2] Лавров Л. Н. Конструкция ракетных двигателей на твердом топливе, Машиностроение, 1993.

Maksymenko I. V., Brynza M. B., Potapov A. M.

Yuzhnoye, State-owned Design Office named after M. K. Yangel. Ukraine, Dnepr

TECHNOLOGICAL FEATURES OF MANUFACTURE OF A NOZZLE MARCHING SOLID PROPELLANT PROPULSION SYSTEM

It sets out the technological features of manufacturing nozzle Marching solid propellant propulsion system. We consider the design of the nozzle. Figures shown are components of the nozzle. The basic process steps of manufacturing the nozzle Marching solid propellant propulsion system. Spend the control output nozzle geometry parameters.

Keywords: nozzle; housing assembly; socket assembly; mechanical restoration; assembly-bonding; control; winding; critical section.

References

- [1] Fahrudinov I. H., Kotelnikov A. V. The construction and design of solid rocket motor firings, Engineering, 1987.
Fahrudinov I. H., Kotelnikov A. V.
- [2] Lavrov L. N. The design of rocket engine on solid fuel, Engineering, 1993.