

ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ГОРЯЧИХ АГРЕГАТОВ ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Широкожухова А.А.^{1,2}, Юхневич С.С.^{1,2}

¹АО «Конструкторское бюро химавтоматики», г. Воронеж, anamyagkih@yandex.ru

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж

Ключевые слова: ракетный двигатель, камера сгорания, смесительная головка, форсунки, охлаждающий тракт, аддитивные технологии

Жидкостные ракетные двигатели (ЖРД) характеризуются сложностью конструкции и особыми требованиями к материалам, что влечет за собой необходимость использования высокотехнологичных и дорогостоящих производственных процессов. Особое место в схеме ЖРД занимают так называемые горячие агрегаты, работающие в условиях высоких температурных, динамических и вибрационных нагрузок – камера, газогенератор и теплообменник.

Традиционные методы изготовления горячих агрегатов ЖРД представляют собой множество последовательных операций, отличаются высокой трудоемкостью, длительным производственным циклом, необходимостью применения большого количества средств технологического оснащения и оборудования [1].

Развитие и внедрение аддитивных технологий, основанных на послойном формировании изделия, позволяет создавать сложные конструкции на основании разработанной модели. что открывает уникальные возможности в проектировании и производстве ракетных двигателей.

Относительно производства горячих агрегатов ЖРД аддитивные технологии позволяют оптимизировать процесс по следующим направлениям:

- усовершенствование геометрии охлаждающего тракта, изготовление каналов сложной формы, что повышает эффективность охлаждения агрегата, обеспечивает высокотемпературные режимы работы, а, следовательно, улучшает энергетические характеристики двигателя при возможном снижении расхода топлива;
- изготовление конструктивных элементов сложной формы;
- интеграция отдельных элементов конструкции, что существенно сокращает количество сварных и паяных соединений, значительно снижает массу агрегата и повышает его надежность;
- оперативное прототипирование и тестирование разработанных конструкций агрегата, возможность внесения изменения в конструкцию на разных стадиях экспериментальной отработки изделия, ускоряя тем самым цикл его разработки и снижая стоимость;
- сокращение производственных затрат за счет уменьшения количества этапов производства, отходов материала, дорогостоящих средств технологического оснащения;
- возможность использования труднообрабатываемых традиционными методами материалов с высоким уровнем механических свойств, прочностных характеристик, а также применение биметаллов [2].

Однако, применительно к ракетно-космической отрасли, использование аддитивных технологий на сегодняшний день сопряжено с рядом ограничений:

- высокая стоимость оборудования и материалов
- ограничения габаритных размеров изготавливаемых изделий

- качество поверхности изготавливаемого агрегата, что для камеры ЖРД является одним из ключевых факторов, влияющих на ее эффективность и работоспособность
- наличие внутренних напряжений, которые необходимо снимать посредством термообработки.
- необходимость внедрения специализированных методов контроля и испытаний для выявления возможных внутренних дефектов, обеспечения однородности материала и подтверждения соответствия характеристик требуемым значениям [3].



Рис. 1 – Опытный образец смесительной головки камеры, изготовленный при помощи аддитивных технологий

На рис. 1 представлен опытный образец смесительной головки камеры ЖРД, изготовленный методом СЛС из сплава инконель 718. В рамках опытно-конструкторских работ была выполнена механическая обработка торцов каждого смесительного элемента, их сравнительная продувка, а также испытания смесительной головки на прочность и герметичность, аналогичные объему контроля при изготовлении подобных изделий традиционными методами. Учитывая существенные отличия опытных агрегатов, изготовленных при помощи аддитивных технологий, от штатных, потребовалась разработка и изготовление новых средств технологического оснащения, а также опробование дополнительных методик контроля качества. При последующей разрезке были выполнены замеры шероховатости поверхности, а также фактических размеров каналов охлаждающего тракта.

Полученные результаты работ свидетельствуют о возможности использования указанного аддитивного метода изготовления смесительной головки для дальнейших этапов испытаний в составе изделия.

Список литературы

1. Ryazantsev, A. Y. Innovative methods for obtaining artificial roughness on the surfaces of heat-loaded parts of the liquid rocket engines combustion chamber / A. Y. Ryazantsev, S. S. Yukhnovich, A. A. Shirokzhukhova // AIP Conference Proceedings 44, Moscow, 28–31 января 2020 года. – Moscow, 2021. – P. 030004. – DOI 10.1063/5.0035987. – EDN QJYPUS.
2. Тарасова Т.В. Аддитивное производство: учебное пособие / Т.В. Тарасова. – Москва: Инфра-М, 2019. – 196 с.
3. Мырзин, В. В. Особенности применения технологии СЛС при изготовлении оребренных стенок камер и газогенераторов жидкостных ракетных двигателей / В. В. Мырзин, А. В. Иванов // Авиация и космонавтика: Тезисы 23-ей Международной конференции, Москва, 18–22 ноября 2024 года. – Москва: ООО «Издательство «Перо», 2024. – С. 79-80. – EDN KNFSUU.

Сведения об авторах

Широкожухова Анна Александровна – кандидат технических наук, заместитель начальника конструкторского отдела сопровождения производства изделий РКТ АО «КБХА» (394006, г. Воронеж, ул. Ворошилова, д. 20), старший преподаватель кафедры технологии машиностроения. ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» (394006, Российская Федерация, ул. 20-летия Октября, 84, e-mail: anamyagkih@yandex.ru).

Юхневич Сергей Степанович – кандидат технических наук, доцент, главный инженер АО «КБХА» (394006, г. Воронеж, ул. Ворошилова, д. 20, заведующий кафедры технологии машиностроения. ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» (394006, Российская Федерация, ул. 20-летия Октября, 84, e-mail: serge1975@yandex.ru).

APPLICATION OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN THE MANUFACTURE OF HOT UNITS OF LIQUID ROCKET ENGINES

Shirokozkhukhova A.A.^{1,2}, Yuchnevich S.S.^{1,2}

¹Joint Stock Company «Konstruktorskoe Buro Khimavtomatiki»,
Voronezh, anamyagkih@yandex.ru

²Voronezh State Technical University

Keywords: rocket engine, combustion chamber, mixing head, nozzles, cooling circuit, additive technologies