

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПАЯННЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ОХЛАЖДАЮЩИХ ТРАКТОВ КАМЕР СГОРАНИЯ ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

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

¹АО «Конструкторское бюро химавтоматики», г. Воронеж,

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Ключевые слова: жидкостный ракетный двигатель, камера сгорания, тракты охлаждения, паянные соединения, пайка тонкостенных деталей.

Главные достижения космической отрасли России всегда были неразрывно связаны со значительным улучшением характеристик жидкостных ракетных двигателей и повышением надежности их работы. Под надежностью жидкостного ракетного двигателя следует понимать способность сохранять требуемые параметры в допустимых пределах при заданных условиях эксплуатации. На всех этапах «жизненного цикла» жидкостного ракетного двигателя осуществляется целый комплекс мер, обеспечивающих качество и надежность двигателя [1].

Одним из основных агрегатов жидкостного ракетного двигателя, влияющих на работоспособность, качество и надежность двигателя, является камера сгорания.

Камерой жидкостного ракетного двигателя называют агрегат жидкостного ракетного двигателя, в котором компоненты топлива или продукты газогенерации в результате химических реакций преобразуются в продукты, создающие при истечении реактивную силу.

При сгорании компонентов топлива температура в камере сгорания может достигать 4000 К, а давление составлять более 20 Мпа. Работоспособность камеры при подобных силовых и температурных нагрузках невозможна без обеспечения ее непрерывного охлаждения, которое может осуществляться, например, с помощью горючего, протекающего перед поступлением в смесительную головку по каналам внешней системы охлаждения камеры сгорания. Такой способ охлаждения называется регенеративным.

Охлаждающий тракт является ключевым элементом конструкции камеры, определяющим ее прочность, надежность охлаждения и массовые характеристики.

Каналы охлаждающего тракта камеры могут быть сформированы следующими способами (рис. 1):

- посредством установки, гофрированной проставки между стенками камеры;
- соединением профилированных трубок при помощи пайки;
- соединением стенок сваркой по специальным выштамповкам;
- фрезерованием ребер на внутренней стенке камеры.

Конструкции охлаждающего тракта в виде ребер и гофр наиболее применимы при проектировании и производстве камер, так как обеспечивают более высокую жесткость и прочность камеры, а также оптимальную скорость течения охлаждающего компонента топлива. Изготовление каналов охлаждающего тракта путем фрезерования ребер на внутренней стенке и последующей пайки двух стенок камеры более предпочтительно, в силу следующих причин:

1. Технология фрезерования каналов относительно проста и надежна.
2. Более высокая точность контроля качества паяного соединения стенки с ребрами при использовании неразрушающих методов контроля (например, рентгено-контроль).

Прочность, надежность и работоспособность охлаждающего тракта напрямую зависит от качества паяного соединения огневой и наружной стенок камеры. Контроль качества паяных соединений на всех стадиях изготовления камер с целью раннего выявления дефектов включает в себя следующие этапы:

- контроль исходных материалов наружной и внутренней стенок и припоя на соответствие требованиям нормативно-технической документации;

- контроль основных размеров деталей и сборки на соответствие требованиям конструкторской и технологической документации;
- контроль качества подготовки поверхностей и правильности сборки под пайку;
- контроль технологических режимов пайки.

Наиболее распространенными дефектами паяных соединений, влияющими на прочность и герметичность камеры, являются непропаи, неспаи, шлаковые включения, поры, раковины, заплывания. Данные дефекты образуются вследствие нарушения технологических режимов пайки, а также из-за наличия отклонений при сборке деталей:

- несоответствия величины зазора между собранными деталями;
- нарушение температурного режима при проведении пайки;
- некачественная очистка соединяемых поверхностей деталей от загрязнений;
- прекращение капиллярного течения припоя и неполное заполнение им соединений.

Качественное паяное соединение возможно лишь при высокой степени чистоты поверхности соединяемых деталей, поэтому перед операцией пайки обязательно проводится очистка поверхностей от окислов, жировых загрязнений и посторонних частиц.

При пайке тонкостенных деталей особое внимание уделяется обеспечению контакта между деталями в процессе собственно пайки и при остывании сборочной единицы.

На качество контакта также влияет величина и равномерность сборочного зазора под пайку между наружной и внутренней стенками. При сборке тонкостенных деталей зазор обеспечивается за счет точного соответствия наружной и внутренней стенок теоретическому профилю камеры, что обеспечивается введением в технологию изготовления составных частей камер операций совместной калибровки стенок взрывом, развальцовки внутренней стенки до соприкосновения ребер с внутренней поверхностью наружной стенки. Эквивалентность профилю, заложенному в конструкторской документации, контролируется при помощи шаблонов, а также посредством нанесения мелового раствора на внутреннюю поверхность наружной стенки для контроля плотности прилегания ребер (рис. 2).

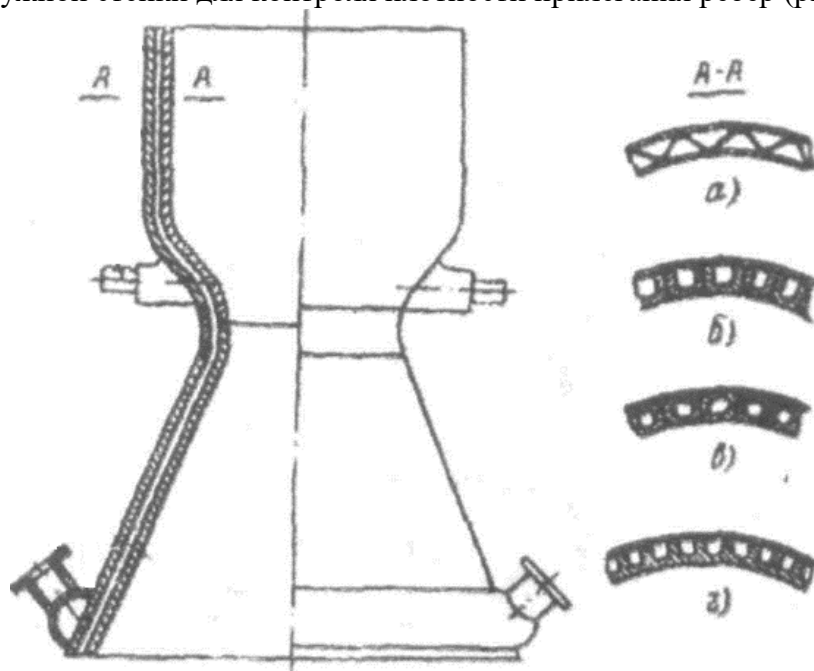


Рис. 1—Типы охлаждающих трактов камер ЖРД

а) - гофрированные проставки; б) - соединенные профилированные трубки;

в) - соединение стенок сваркой по специальным выштамповкам; г) - фрезерование ребер на внутренней стенке



Рис. 2 – Внутренняя стенка камеры после проверки на прилегание при помощи мелового раствора

Окончательно изготовленные сборочные единицы проходят рентгено-контроль с целью выявления возможных запаев каналов охлаждающего тракта, а также испытания на прочность и герметичность давлением, превышающим максимальное рабочее давление в условиях эксплуатации камеры в составе двигателя.

Список литературы

1. Волков Е. Б., Судаков Р. С., Сырицын Т. А. Основы теории надежности ракетных двигателей. М., «Машиностроение», 1974, с. 400.
2. Юхневич, С.С. Изготовление трактов охлаждения камер сгорания жидкостных ракетных двигателей/ С.С. Юхневич, А.Ю. Рязанцев, В.А. Подшибякина//Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. – 2024. - №3(85). – С. 224-229. – END ВАOTRC.

Сведения об авторах

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

Широкожухова Анна Александровна - кандидат технических наук, заместитель начальника отдела АО «КБХА».