

УДК 629.764

Выбор рациональной технологии изготовления решетчатых аэродинамических рулей спасаемых ракетных блоков

Коляндра Павел Алексеевич

kolyandra@bmstu.ru

Королев Сергей Егорович

korolevse@student.bmstu.ru

Белова Анастасия Евгеньевна

belovaae@student.bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. В настоящей работе определены основные требования, предъявляемые к конструкции решетчатых аэродинамических рулей. Рассмотрены возможные схемы сборки решетчатых конструкций с использованием технологических методов сварки и пайки. Разработаны типовые технологические процессы изготовления конструкции решетчатых аэродинамических рулей. Проведен их сравнительный анализ на примере руля для ракеты-носителя среднего класса грузоподъемности. По результатам анализа сформированы предложения по рациональным технологическим решениям, применяемым при изготовлении решетчатого аэродинамического руля.

Ключевые слова: решетчатый аэродинамический руль, технологический процесс, сварка, пайка, гидроабразивное резание

Selection of a rational technology for manufacturing lattice aerodynamic control surfaces of rescued rocket units

Kolyandra Pavel Alekseevich

kolyandra@bmstu.ru

Korolev Sergey Egorovich

korolevse@student.bmstu.ru

Belova Anastasia Evgenievna

belovaae@student.bmstu.ru

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. In this work, the main requirements for the design of lattice aerodynamic control surfaces are defined. Possible assembly schemes for lattice structures using welding and soldering techniques are considered. Typical technological processes for manufacturing lattice aerodynamic control surfaces have been developed. Their comparative analysis has been conducted using the example of a control surface for a medium-lift launch vehicle. Based on the analysis results, proposals have been made for rational technological solutions used in manufacturing a lattice aerodynamic control surface.

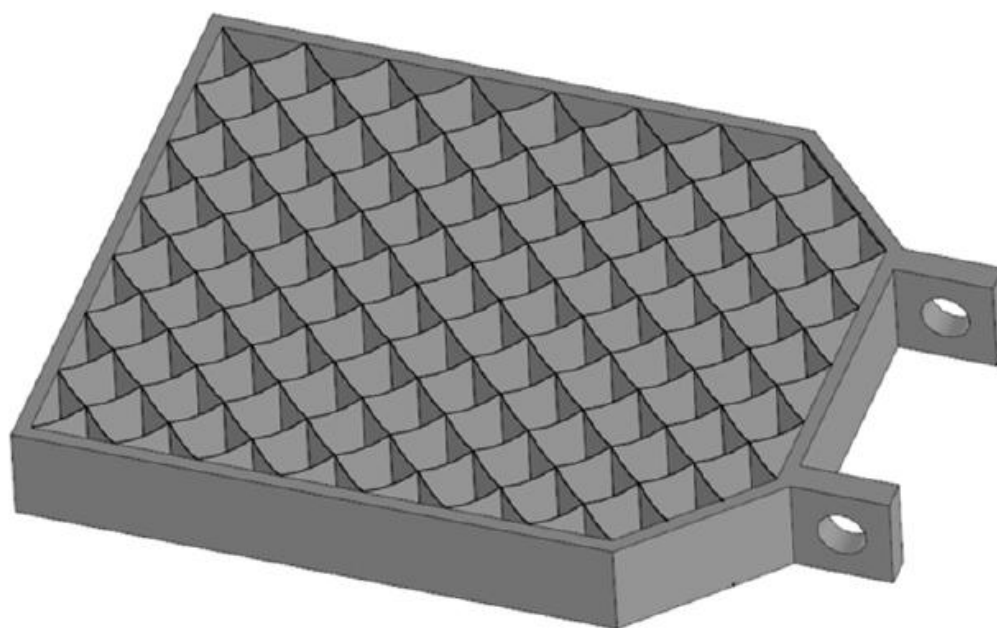
Keywords: lattice aerodynamic rudder, technological process, welding, soldering, waterjet cutting

Введение. Одним из основных направлений совершенствования эксплуатационных характеристик и стоимостных показателей перспективных средств выведения является использование многоразовых ступеней ракет-носителей. Наиболее известной и проработанной схемой спасения ракетных блоков является ракетодинамическая с вертикальной посадкой ракетного блока первой

ступени ракеты-носителя (РН) на наземную площадку или морскую платформу [1]. При такой схеме спасения основным вопросом является обеспечение управления возвращаемым ракетным блоком на этапе спуска для осуществления посадки в выделенную зону. Одним из главных органов управления при возвращении многоразового ракетного блока в перспективных изделиях ракетно-космической техники является комплекс аэродинамических рулей, которые в процессе эксплуатации испытывают повышенные нагрузки.

Решетчатые аэродинамические рули, как и любые другие конструкции, могут изготавливаться различными методами, т. е. путем использования принципиально разных технологических процессов. Выбор конкретного технологического процесса изготовления решетчатых рулей оказывает непосредственное влияние как на сухую массу конструкции элементов спасения ракетного блока, так и на конструктивное совершенство изделия в целом. С учетом этого, в настоящей работе решается задача выбора рациональных технологических решений, направленных на создание решетчатых аэродинамических рулей спасаемых ракетных блоков [2].

Материалы и методы. При рассмотрении различных технологических процессов изготовления решетчатых аэродинамических рулей спасаемых ракетных блоков использовался метод сравнительного анализа. Для его проведения в программном комплексе «АСКОН» была построена идеализированная трехмерная модель решетчатого руля, исходя из требования управляемости ракетным блоком РН среднего класса грузоподъемности на этапе посадки, представленная на рисунке.



Трехмерная модель решетчатого руля

В качестве основного критерия для сравнения выступал «привес» конструкции, получаемый в результате реализации технологического процесса.

Результаты. При выборе конкретных технологических решений, используемых при изготовлении решетчатых аэродинамических рулей, был проведен анализ открытых источников литературы для формирования основных требований, предъявляемых к их конструкции. Основными требованиями являются:

- необходимость использования жаропрочных материалов, обеспечивающих работоспособность конструкции при температурах ≈ 1000 °С;
- форма планов решетчатого руля должна обеспечивать равномерное распределение теплового потока по толщине конструкции;
- возможность проведения межполетного обслуживания в кратчайшие сроки.

Применительно к конструкции решетчатого руля идеализированным вариантом ее изготовления является обработка заготовки типа «плита» резанием или электроискровым методом. Вместе с тем очевидно, что использование указанных методов при создании такого типа характеризуется низким коэффициентом использования материала, высокими трудозатратами, а также не в полной мере соответствует сформулированным требованиям [2]. С учетом этого наиболее целесообразно рассматривать изготовление аэродинамических рулей сборкой типовых составных частей таких как силовая окантовка (силовые лонжероны) и система тонких планов. С технологической точки зрения наибольший интерес представляют этапы изготовления набора тонких планов руля и выбор способа окончательной сборки конструкции.

В настоящее время известны три варианта получения решетчатой конструкции:

- формирование пазов в тонких планах и их соединение;
- гибка планов и их последующее соединение;
- получение решетчатой конструкции путем соединения труб.

Анализ, проведенный в данной работе, показал, что наиболее целесообразным представляется вариант с формированием пазов в тонких планах. Изготовление набора тонких планов из листового материала возможно осуществлять с помощью гидроабразивного оборудования, обеспечивающего получение тонких пазов (ширина 1–2 мм), а также радиальных углублений [3–5].

Соединение составных частей возможно с использованием технологических методов сварки или пайки. В работе подробно рассмотрены технологии изготовления решетчатого руля с использованием указанных методов.

Для технологии пайки проведен анализ доступных жаропрочных припоев, рассчитан оценочный привес рассматриваемой конструкции (около 2 % от чистой массы конструкции), а также разработан укрупненный технологический процесс их изготовления [6, 7].

Для технологии сварки проведен сравнительный анализ известных методов сварки по критериям: производительность, возможность глубокого проплавления, требования к внешней среде и возможность изменения направления сварки. По результатам проведенного анализа выбрана перспективная

технология лазерной сварки с присадкой. Также разработан типовой технологический процесс для выбранного метода сварки [8].

Обсуждение. По результатам работы по выбору рациональной технологии изготовления решетчатых аэродинамических рулей спасаемых ракетных блоков предлагается:

- сборка конструкции руля путем совмещения пазов в тонких планах;
- использование гидроабразивного резания при изготовлении фигурных тонких планов решетчатого руля;
- применение перспективного метода лазерной сварки с присадкой для соединения составных частей конструкции решетчатого руля.

Заключение. Результаты, полученные в ходе выполнения данной работы, могут быть использованы при проектировании перспективных средств выведения со спасаемыми ракетными блоками первой ступени. Дальнейшее развитие данной тематики заключается в рассмотрении возможности изготовления решетчатых рулей из керамического материала, а также с использованием аддитивных технологий.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] Дайджест патентной информации. Ракета-носитель с возвращаемой ступенью. URL: <https://agat-roskosmos.ru/> (дата обращения 10.08.2025).
- [2] Белоцерковский С.М., Фролов В.П., Подобедов В.А., Плаунов В.П., ред. *Решетчатые крылья в ракетостроении, космонавтике, авиации*. Москва, Новый центр, 2007, 2007 с.
- [3] Денисов А.С. *Повышение эффективности гидроабразивного резания заготовок из толстолистовых металлов на основе дискретной подачи абразива*. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2014, 19 с.
- [4] Галиновский А.Л., Барзов А.А., Проваторов А.С. К вопросу о применении ультраструйных технологий в РКТ. *XL Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства: сб. тез.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015, 420 с.
- [5] Тарасов В.А., Галиновский А.Л., Елфимов В.М. Минимизация технологической себестоимости гидроабразивного резания с учетом стоимостных и технологических параметров процесса обработки. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2011, № 4, с. 46–53.
- [6] *Официальный сайт Федерального государственного унитарного предприятия «ВИАМ»*. URL: <https://viam.ru/> (дата обращения 14.04.2025).
- [7] Новиковский Е.А. *Пайка металлов*. Барнаул, АлтГТУ, 2013, 63 с.
- [8] Шиганов И.Н., Шахов С.В., Холопов А.А. Лазерная сварка алюминиевых сплавов авиационного назначения. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2012, спец. вып., с. 34–50.