

*Сарычев С.С.,
электроэрозионист 4-ого разряда
АО «НПО Энергомаш имени академика В.П. Глушко»
Россия, г. Химки*

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

***Аннотация:** в статье представлены современное состояние и проблемы проектирования корпусных конструкций ракетных двигателей, кратко описана конструкция твердотопливного ракетного двигателя, перечислены эксплуатационные нагрузки, определяющие его конструкцию. Особое внимание уделено обзору композитных материалов, их преимуществам и недостаткам.*

***Ключевые слова:** ракетные двигатели, двигательная установка, космические аппараты, конструкция ракетного двигателя, функционально-градиентные материалы, композиты.*

***Annotation:** the paper presents the current state and problems of designing hull structures of rocket engines, briefly describes the design of solid rocket engine, lists the operating loads determining its design. Particular attention is paid to the review of composite materials, their advantages and disadvantages.*

***Key words:** rocket engines, propulsion system, spacecraft, rocket engine design, functionally graded materials, composites.*

В настоящее время наблюдается стремительный прогресс в усовершенствовании структурного дизайна двигательных установок, представляющих сверхсложную конструкторскую задачу для инженеров.

Разработка конструкций ракетных двигателей является ключевым шагом для достижения целей аэрокосмической отрасли.

Корпус ракетного двигателя считается основным элементом, влияющим на лётно-технические характеристики ракеты. В конструктивном рассмотрении он может быть представлен как корпус высокого давления, создающий внутреннее рабочее давление.

В камере сгорания создаются крайне неблагоприятные условия с достаточно высокой температурой и внутренним давлением. Традиционные методы производства ограничивают возможности решения проблемы экстремальных условий в ракетных двигателях [1, с. 2].

Ракетный двигатель представляет собой типичную систему передачи энергии, в которой химическая энергия топлива преобразуется в тепловую энергию, сопровождаемую высоким давлением, а образующиеся газы проходят через сопло, где внутренняя энергия преобразуется в кинетическую, которая и создаёт движущую силу (тягу).

Первый твердотопливный ракетный двигатель изобрели в Китае ещё в XIII веке [2, с. 3]. Ввиду простоты конструкции, лёгкости изготовления и высокой производительности, а также надёжности по сравнению с другими ракетными двигателями, данный вид двигателя используется чаще остальных.

В твердотопливном ракетном двигателе топливо и окислитель образуют единую твёрдую структуру. Они смешиваются и хранятся в камере сгорания, что позволяет двигателю выполнять свою функцию вне зависимости от наличия или отсутствия воздуха.

Простая конфигурация ракетного двигателя состоит из следующих элементов (рисунок 1):



**Рисунок 1. Схема твердотопливного ракетного двигателя [2 с. 3],
прим.: перевод с англ. автора**

Корпус ракетного двигателя считается одной из важнейших конструкций в ракетостроении. Конструкция корпуса двигателя, в котором происходит сгорание топлива с достижением высоких температур от 2000 до 3500 °С и рабочим давлением от 3 до 30 Мпа, должна иметь соответствующую прочность и относительно малый вес [3, с. 176].

При проектировании корпуса ракетного двигателя наиболее важной проблемой является выбор материала, который бы обладал превосходными свойствами, удовлетворяя требованиям к производительности. Выбор материала основан на оценке отношения прочности к весу, удельной жёсткости, доступности материала, условий эксплуатации, стоимости и теплового расширения.

Конструкционные материалы корпуса ракетного двигателя делятся на два основных типа: обычные материалы (высокопрочная сталь или высокопрочные алюминиевые и титановые сплавы) и композитные материалы

(углерод, стекло). Композитные материалы используются в большинстве новых корпусов ракетных двигателей из-за их высокого отношения прочности к весу, высокой ударной вязкости и гибкости конструкции, что способствует развитию отрасли ракетных двигателей.

Композитные материалы обладают высокой прочностью на растяжение и сжатие, что предоставляет возможность многократного использования в различных ситуациях. Композитные материалы обладают превосходными свойствами, такими как вес, жёсткость, прочность и т. д. Композитные материалы обладают следующими преимуществами по сравнению со стандартными материалами:

1. Высокое соотношение прочности и веса – с использованием композитных материалов могут быть изготовлены прочные и лёгкие конструкции. Благодаря этому свойству производятся огромные ракеты с очень высокой прочностью и относительно небольшим весом, а также самолеты, которые могут двигаться быстрее с меньшим весом и лучшим расходом топлива.

2. Композитные материалы дают возможность состыковки деталей, ввиду чего сложные монолитные металлические детали могут быть заменены композитной конструкцией, что сокращает время на сборку, а также общее время производства.

Следует отметить, что недостатком обычных композитных материалов является подверженность деформациям на дискретных стыках используемых материалов ввиду различий в их функциональных свойствах [1, с. 2]. Для устранения данного недостатка были разработаны функционально-градиентные материалы.

3. Высокая удельная жёсткость (отношение жёсткости к плотности) – жёсткость композитных соединений не уступает стали, при весе в пять раз меньше [4].

4. Высокая ударная вязкость – композитные материалы устойчивы к взрывным нагрузкам.

5. Композитные материалы имеют лучшие характеристики вибрации и шума, чем обычные материалы, поскольку композитная структура гасит вибрацию лучше, чем металлы. Это достоинство успешно используется при эксплуатации передней кромки крыла самолёта.

6. Высокий уровень химической и коррозионной устойчивости – внешняя поверхность композита изготовлена из пластика, ввиду чего обладает высокой устойчивостью к коррозии.

7. Долговечность при меньших экономических затратах.

Таким образом, двигательная установка является важнейшей частью конструкции ракет. Корпус ракетного двигателя должен иметь достаточную прочность и малый вес, чтобы увеличить дальность полёта, а также увеличить полезную нагрузку ракеты. Наилучшим методом снижения веса конструкции является возможность замены обычных материалов, используемых при производстве, композитными.

Использованные источники:

1. Гришин А.Н. Функционально-градиентные материалы для ракетных двигателей // Аллея науки. – 2021. – № 12 (63). – С. 2.
2. Hossam I., Saleh S., Kamel H. Review of challenges of the design of rocket motor case structures // International Conference on Aerospace Sciences and Aviation Technology. – The Military Technical College, 2019. – Т. 18. – № 18. – С. 3.
3. Kammer D.C. Test-analysis model development using an exact modal reduction // International Journal of Analytical and Experimental Modal Analysis. – 1987. – Т. 2. – № 4. – С. 176.
4. Vinay H.B., Govindaraju H.K., Banakar P.A Review on Investigation on the Influence of Reinforcement on Mechanical Properties of Hybrid Composites // International Journal of Pure & Applied Sciences & Technology. – 2014. – Т. 24. – № 2.