

УДК 67.02

Интенсификация теплообмена в рубашке охлаждения камеры сгорания ЖРД

Нафиков Марат Ирекович^(*)

maratn2010@gmail.com

Глебов Геннадий Александрович

glebov_g_a@mail.ru

КНИТУ–КАИ, Казань, Россия

Аннотация. Рассматриваются конструктивно-технологические решения для интенсификации теплообмена в регенеративных трактах охлаждения сложной геометрии камер сгорания жидкостных ракетных двигателей (ЖРД). Применение ребер различной конфигурации и вихревых матриц в каналах охлаждения позволяет значительно повысить термогидравлическую эффективность (до +44–52 %) при умеренном увеличении перепада давления (до +11–30 %). Проведены численные исследования турбулентности со сравнением валидированных данных. Показаны корреляционные зависимости для параметров теплоотдачи и коэффициентов гидравлического сопротивления.

Ключевые слова: интенсификация теплообмена, регенеративное охлаждение, ЖРД, камера сгорания ЖРД, турбулизация, численное моделирование, аддитивное производство

Введение. Основным требованием к камерам сгорания ЖРД является работоспособность на пределах энергетических возможностей и, следовательно, высокие показатели охлаждающей способности. Методы интенсификации теплообмена, основанные на модификации геометрии каналов охлаждения, позволяют разрушать термический пограничный слой, генерировать вторичные течения и увеличивать площадь теплообменной поверхности. Наиболее перспективными являются компланарные каналы различной конфигурации, которые при относительно низком приросте гидравлического сопротивления (10–30 %) дают значительное повышение коэффициента теплоотдачи (50–70 %) [2].

Целью настоящей работы является сравнительный анализ эффективности различных конструктивных схем компланарных каналов и определение оптимальных геометрических параметров для регенеративных трактов охлаждения ЖРД, изготавливаемых аддитивными методами.

Методы и материалы; результаты. Компланарные кольцевые тракты отличаются перекрестным расположением ребер на противоположных стенках, формируя в межреберном пространстве встречные вихревые потоки, взаимодействующие через слой смешения. Это обеспечивает интенсификацию конвективной теплоотдачи в 2–4 раза по сравнению с классическим однонаправленным обтеканием при допустимых гидравлических потерях.

Физическая модель представляет совокупность противоположно направленных периферийных потоков, развиваемых вязкими силами в межреберных каналах. В слое смешения происходит деформация и трансформация погра-

нических слоев, генерация турбулентных пульсаций и активный перенос нагретых слоев в объем потока. Дополнительный эффект — замещение нагретого теплоносителя у теплоотдающих поверхностей более холодными слоями из противоположного потока.

Сравнение с гладким кольцевым каналом показывает, что при умеренных углах винтовых каналов уровень интенсификации теплоотдачи превосходит рост гидравлического сопротивления. Интегральный показатель эффективности по критерию максимального теплосъема в 2–4 раза превышает эффективность классического оребрения при оптимальных сочетаниях углов, числа оребрения, относительного шага и высоты теплоотдающих ребер [3].

Заключение. Методы пассивной интенсификации теплообмена, в особенности компланарные тракты — перспективный элемент для регенеративного охлаждения камер ЖРД, особенно в сочетании с аддитивными технологиями, позволяющими реализовать сложную конфигурацию перекрестного оребрения. Развитие аддитивных технологий производства (селективное лазерное плавление — СЛП, прямая лазерная наплавка — ПЛН) создает принципиально новые возможности для реализации охлаждающих каналов сложной конфигурации с интегрированными микроструктурами.

Список источников

- [1] Артемов А.Л., Дядченко В.Ю. Отработка конструктивных и технологических решений для изготовления опытных образцов внутренней оболочки камеры сгорания многофункционального жидкостного ракетного двигателя с использованием аддитивных технологий. *Космическая техника и технологии*, 2017, № 1 (16), с. 50–62.
- [2] Золотухин А.В., Чохар И.А., Терехов В.И. Экспериментальное исследование турбулентной структуры течения в ячейке решетчатой матрицы. *Теплофизика и аэромеханика*, 2022, т. 29, № 6, с. 1071–1078.
- [3] Александренков В.П. Теплогидравлическая эффективность применения компланарных трактов охлаждения камер ЖРД. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2015, № 2, с. 44–56.