

Газодинамические характеристики высокотемпературных сверхзвуковых струй малой степени нерасчетности и особенности теплообмена при взаимодействии с преградой

О.К. Кудин, Ю.Н. Нестеров

Центральный аэрогидродинамический институт имени проф. Н.Е. Жуковского

Представлены результаты экспериментального исследования газодинамических и геометрических характеристик высокотемпературных слабонедорасширенных сверхзвуковых струй и теплообмена таких струй с плоской преградой, расположенной под разными углами к оси струи и на разных расстояниях от среза сопла. Струи имели температуру торможения $T_0 = 1300$ К, числа M на срезе модельных сопел 1 и 2, отношение удельных теплоемкостей газа $\gamma = 1.25 - 1.3$, числа Re по диаметру среза и параметрам на срезе $(2 - 3) \cdot 10^5$. Эксперименты проведены в аэродинамической трубе, генерирующей высокотемпературные струи на основе продуктов сгорания спирта в кислороде.

Получены данные о распределении температур торможения и давлений в поперечных сечениях струй на разных удалениях от среза сопла. Определены динамические и температурные границы струй. Сравнение полученных результатов с результатами [1] для струй холодного воздуха позволило сделать вывод о более быстром разрушении ударно-волновой структуры в горячей струе. Для некоторых расстояний от среза сопла и величин степени нерасчетности n (отношения статических давлений на срезе сопла и в окружающей среде) кривые распределения избыточного давления в поперечных сечениях струи имеют участки с отрицательными значениями. Зоны отрицательных значений избыточного давления расположены в слое смешения вблизи границы струи и зарегистрированы в пределах двух первых бочек нерасчетной струи. Эта особенность связана с трехмерными течениями в слое смешения струи, отмеченными в ряде работ [2–3], в том числе с наличием радиальной компоненты скорости.

В процессе взаимодействия слабонедорасширенной струи с преградой могут возникать режимы течения, при которых на поверхности преграды наблюдаются существенные возмущения в распределении теплового потока при незначительных возмущениях распределения давления. Такое явление характерно для обтекания преграды сверхзвуковым потоком, в котором присутствуют малые возмущения скорости [4].

Приводятся примеры распределения удельных тепловых потоков по преграде при разных удалениях от среза сопла. В области взаимодействия преграды с элементами ударно-волновой структуры струи локальный тепловой поток возрастает.

При теплообмене струи с наклонной преградой рассматриваются две возможные схемы течения – режим веерного растекания струи после удара в преграду и режим одностороннего течения с присоединенным скачком уплотнения. Во втором случае максимальный тепловой поток наблюдается в области присоединения скачка уплотнения.

Показана возможность приближенной расчетной оценки тепловых потоков от струи к нормально расположенной преграде на проекции оси сопла с использованием известных формул Фэйя-Риддела и Авдеевского. Градиенты скорости в точке торможения струи в этом случае определялись на основании экспериментальных данных по распределению давления на преграде. Оказалось, что значения градиента скорости при растекании по преграде горячей струи существенно больше, чем холодной.

Литература

1. Глазнев В.Н., Сулейманов Ш. Газодинамические параметры слабонедорасширенных свободных струй. – Новосибирск: Наука, 1980, 122 с.
2. Запрыгаев В.И., Солотчин А.В. Трехмерная особенность структуры течения в сверхзвуковой недорасширенной струе // ПМТФ. 1991. № 4. С. 42 – 47.
3. Новопашин С.А., Перепелкин А.Л. Самоорганизация течения в сверхзвуковой предтурбулентной струе. – Новосибирск, 1998. (Препр./ АН СССР. Сиб. отд-ние. ИТ, № 175).
4. Егоров И.В., Шведченко В.В. Тепловой поток к поверхности цилиндра при пространственных возмущениях сверхзвукового потока // Ученые записки ЦАГИ. 2013. Т. XLIV, № 2. С. 12 – 24.
5. Кудин О.К., Нестеров Ю.Н. Экспериментальное исследование теплообмена при взаимодействии сверхзвуковых слабонедорасширенных струй с плоской преградой // Ученые записки ЦАГИ. 2016. Т. XLVII, № 3, с. 47 – 55.