Распределение температуры пламени вдоль аэродинамического канала в условиях сверхзвукового горения пропан-воздушного потока

Д.А. Воробьев, П.В. Копыл, Л.В. Шибкова, В.М. Шибков

Физический факультет МГУ им.М.В. Ломоносова, Москва, Россия, shibkov@phys.msu.ru

Во всех типах реактивных двигателей стабильное горение поддерживается с помощью специальных устройств (застойных зон, каверн и т.п.), служащих для предотвращения срыва пламени высокоскоростным потоком. Конструкция этих устройств должна учитывать баланс между вносимым ими дополнительным сопротивлением потоку и стабилизацией пламени. В свободном сверхзвуковом потоке в принципе невозможно удержать пламя без специальных мер. Одним из таких способов является использование газоразрядной плазмы. В условиях импульсного самостоятельного разряда сверхзвуковое горение свободных воздушно-углеводородных потоков происходит только в течение длительности импульса, и пламя срывается, как только подвод энергии прекращается. Для стационарного горения при использовании нестационарной низкотемпературной плазмы необходимо оптимизировать режим инициации импульсного разряда, т.е. величину вкладываемой в плазму энергии, длительность и частоту следования импульсов. Это может быть осуществлено при создании разряда в режиме программированного импульса. В этом случае пробой газа, поддержание плазмы и вклад энергии в заданную область пространства осуществляются с помощью сверхвысокочастотного разряда, мощность которого изменяется по наперед заданной программе.

Экспериментальная установка включает в себя вакуумную камеру, ресивер высокого давления воздуха, ресивер высокого давления пропана, систему для создания сверхзвукового потока, магнетронный генератор, систему для ввода СВЧ-энергии в камеру, прямоугольный аэродинамический канал, систему синхронизации и диагностическую аппаратуру. Секундный массовый расход воздуха может изменяться от 25 до 125 г/с, пропана – от 1 до 7 г/с, а спирта – от 0.5 до 1.5 г/с.

Самостоятельные СВЧ-разряды существуют при высоких величинах приведенного электрического поля. В случае их применения нарабатывается больше активных частиц, чем в плазме электродного разряда, а это сильно влияет на кинетику процессов с участием активных радикалов и, как следствие, уменьшает время индукции, что является очень перспективным для инициации быстрого воспламенения сверхзвуковых потоков газообразного и жидкого углеводородного топлива.

Экспериментально было показано, что период индукции в условиях газоразрядной низкотемпературной плазмы изменяется от миллисекундного масштаба времени для разряда постоянного тока до нескольких десятков микросекунд в условиях СВЧ-разрядов, существующего при больших значениях приведенного электрического поля *E/N* = 100-200 Тд. Экспериментально реализована стабилизация горения высокоскоростных воздушно-углеводородных потоков внутри расширяющегося аэродинамического канала. Показано, что температура пламени линейно растет вдоль аэродинамического канала и выходит на установившееся значение 1800-1900 К в зависимости от стехиометрии смеси и секундного расхода топлива. Причем горение бедных смесей происходит эффективнее по сравнению с богатыми, что очень важно с точки зрения экономии топлива.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 11-02-01091-а).