

КОНВЕКТИВНОЕ ГОРЕНИЕ ЛИТЬЕВЫХ СМЕСЕВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Сулимов А. А., Ермолаев Б. С., Храповский В. Е., Сукоян М. К.

Институт Химической физики им. Н. Н. Семенова РАН

Конвективное горение, неразрывно связанное с газопроницаемой пористостью, интенсивно изучалось на зарядах из дисперсных материалов насыпной плотности или изготовленных прессованием. Данное исследование выполнено на смесевых топливах марки НТБС, изготовленных свободным литьем, которые при технологической пористости 2–3 % имели в исходном состоянии нулевую газопроницаемость. Работа проводилась в начале 90-х годов при участии сотрудников НПО «Союз». Для исследования были выбраны составы с хорошо воспроизводимыми характеристиками горения, которые содержали 50 вес. % дисперсной фазы из быстрогорящего ВВ класса бензотрифуроксанов в виде частиц средним размером около 0.2 мм, матрицу из пластифицированной сферической нитроцеллюлозы и некоторые присадки. Топливо обладает высокой калорийностью (расчетная сила пороха 1.27 МДж/кг).

Конвективное горение исследовалось в устройстве с одновременной фотографической и пьезометрической регистрацией. Цилиндрический заряд диаметром 10 мм и длиной 100–150 мм помещался в канал плексигласовой трубки, которая плотно вставлялась в стальную щелевую оболочку с продольным узким окном. Оболочка соединялась с дополнительной секцией, в которой размещался воспламенитель, создающий заданное начальное давление, и куда оттекали продукты горения заряда. Датчики давления располагались по длине оболочки и в присоединенной секции.

Опыты показали, что конвективное горение возникает, если давление превышает 12–15 МПа, и распространяется устойчиво на всю длину заряда со скоростью, медленно возрастающей по мере роста давления в камере. Уровень скорости горения составляет 40–60 м/с при давлении 100 МПа, показатель степени по давлению 0.2. Частицы топлива, диспергируемые и оттекающие от фронта пламени вместе с газообразными продуктами горения, полностью сгорают за время около 2 мс. Было установлено, что конвективное горение связано с появлением газопроницаемости в сжатом и деформированном топливе, хотя детали механизма остаются неясными. Механические испытания показали, что образцы обладают недостаточной адгезией связующего к кристаллам ВВ. В условиях деформирования наблюдалось отслоение, появление микродефектов и поверхностных трещин в кристаллах. Измерения проницаемости, выполненные при повышенных давлениях, показали, что при сжатии образцов до 1 МПа и выше появляется газопроницаемость на уровне 10^{-2} – 10^{-3} Дарси.

В качестве возможных практических приложений рассмотрены ракетный двигатель с коротким импульсом работы и комбинированная схема вы-

выстрела с присоединенным зарядом. Опыты в модельном ракетном двигателе проводили на цилиндрических образцах диаметром 12 и длиной 120 мм, бронированных по боковой поверхности, с регистрацией давления и скорости конвективного горения. Получены диаграммы давление – время, по форме близкие к платообразным, длительностью около 5 мс с амплитудой 100 – 120 МПа.

Комбинированная схема выстрела изучалась в 23-мм баллистической установке с системой регистрации дульной скорости методом рам-мишеней и набором пьезоэлектрических датчиков давления, установленных в камере и по длине ствола. Пороховой заряд состоял из двух блоков. Камерный заряд изготовлялся прессованием из зерен пироксилинового пороха ВТМ, ингибированных по наружной поверхности 1.5 % поливинилацтата, и использовался как моноблок всестороннего горения. Заряд из НТБС покрывался по боковой поверхности парафином и приклеивался к метаемому телу (цилиндр из дуралюмина весом 20 г).

Проведено две серии опытов. В первой серии вес камерного заряда 30 г сохранялся постоянным, а вес присоединенного заряда изменялся от 10 до 35 г. Результаты опыта (дульная скорость в зависимости от максимального давления выстрела) накладывались на базовую кривую, которая была получена в предварительных опытах с блочным зарядом разного веса, полностью размещенном в камере. Наблюдалось систематическое превышение дульной скорости при равном давлении над базовой кривой; в опыте при 35-г присоединенном заряде при дульной скорости 2150 м/с превышение составило 250 м/с.

Во второй серии опытов суммарная масса двух полузарядов сохранялась постоянной (65 г). Вес присоединенного заряда увеличивался от 0 до 40 г при соответствующем уменьшении веса камерного заряда. В этих опытах дульная скорость оставалась примерно постоянной на уровне 2150 м/с, тогда как максимальное давление снижалось по мере увеличения массы присоединенного заряда от 400 до 220 МПа. Анализ записей давления показал, что на определенной стадии выстрела давление в стволе оказывается выше, чем давление в камере. В целом, эти результаты свидетельствуют о позитивном эффекте, который может быть достигнут при использовании НТБС в качестве присоединенного заряда. Аналогичные выводы сделаны в работах НИИПММ при Томском госуниверситете, где также проводилось экспериментальное и теоретическое изучение топлива НТБС в комбинированной схеме выстрела в 23-мм длинноствольной установке [М.С. Барышев, В.А. Бураков, А.Н. Ищенко и др. // Доклады V научной конференции. Саров, 2007].