

ИССЛЕДОВАНИЯ КОНВЕКТИВНОГО ГОРЕНИЯ И ВНУТРИБАЛЛИСТИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВЫСОКОПЛОТНЫХ ПОРОХОВЫХ ЗАРЯДОВ В СТВОЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ. ЭКСПЕРИМЕНТ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Сулимов А. А.*, Ермолаев Б. С.*, Королев В. П.**,
Михайлов Ю. М.***, Романьков А. В.*

***Институт химической физики им. Н. Н. Семенова РАН. 117977,
Москва В-334, ул. Косыгина, 4.*

***ФГУП «ЦНИИТОЧМАШ». 142080, Московская обл., г. Климовск-1, ул.
Заводская, 2.*

****Институт проблем химической физики РАН. 142432, Московская
обл., г. Черноголовка, пр. академика Семенова, 1.*

В Институте химической физики РАН проведены фундаментальные исследования конвективного горения (КГ) в пористых энергетических материалах [1]. В этих работах разработана методология исследований, определены условия стабилизации, механизмы конвективного горения, структура волны, закономерности и методы регулирования параметров КГ в зарядах с различной пористостью. Создана теория процесса. Выполненные исследования послужили научной основой для разработки прогрессивногорящих высокоплотных зарядов конвективного горения (ВЗКГ) с целью их использования для повышения эффективности ствольных систем [2]. ВЗКГ — прессованный заряд с плотностью 1.2–1.5 г/см³, который изготовлен из пороховых зерен, ингибированных пленочными или флегматизирующими покрытиями.

В докладе рассматривается конвективное горение и внутрибаллистический процесс применительно к ствольной системе с ВЗКГ, состоящем из зерен пироксилинового пороха, ингибированных пленочным полимерным покрытием из поливинилбутирала (ПВБ). Предложена модель конвективного горения (КГ) ВЗКГ в условиях выстрела. Разработана компьютерная программа расчета внутрибаллистических параметров.

При высоких (до 4000 атм) давлениях изучено влияние размера частиц пороха, содержания ПВБ, темпа нарастания давления, пористости заряда, свойств воспламенителя на процессы распространения КГ и догорания зерен, образующихся в результате диспергирования заряда. Исследования проведены в замкнутых и полужамкнутых (с соплом) бомбах

и в ствольных установках с использованием методов фотографической и пьезометрической регистрации процесса. Установлена высокая прогрессивность горения ВЗКГ, которая обеспечивается за счет замедленного конвективного воспламенения заряда в целом и прогрессивного горения диспергированных ингибированных зерен. При использовании ВЗКГ в ствольной установке впервые были получены экспериментальные кривые давление-время платообразной формы, соответствующие горению пороха в идеально-прогрессивном режиме.

Исследования закономерностей, описывающих постепенный охват горением наружной поверхности ингибированных зерен, образовавшихся после распространения КГ по заряду, проводили, используя гашение заряда на различных стадиях горения и баллистические эксперименты в ствольной установке. После гашения проводили микроскопный анализ наружной поверхности зерен и определяли динамику образования и развития поверхности горения. Установлен очаговой механизм. Получены данные, описывающие изменение концентрации очагов, скорости их разгорания и поверхности (оголенности) в зависимости от времени горения и импульса давления.

Основные эксперименты по определению зависимости поверхности горения от времени при изменении параметров заряда проводились в ствольной установке калибром 14.5 мм с записью давление-время в зарядной камере. Записи давления обрабатывали с помощью специальной баллистической программы с использованием данных по силе пороха, коволтому и определяли удельную поверхность горения. Применялись заряды специальной формы, так называемые моноблоки всестороннего горения, позволяющие свести к минимуму вклад стадии распространения фронта горения на весь заряд. В опытах варьировались содержание ингибитора (ПВБ), плотность заряда и вес метаемого тела, то-есть, уровень давления при выстреле. Были получены следующие результаты: 1) Начальная величина удельной поверхности горения практически не чувствительна к изменению содержания ингибитора и уровня давления при выстреле, но уменьшается при повышении плотности заряда. 2) На участке прогрессивного горения удельная поверхность горения растет пропорционально времени. 3) Время полного охвата поверхности зерна горением снижается по мере уменьшения содержания ингибитора, но не чувствительно к изменению плотности заряда и уровня давления выстрела. Аналогичные результаты были получены в опытах с другим ингибитором — поливинилацетатом на порохах с более крупным зерном. Данные зависимости совместно с закономерностями, описывающими

распространение фронта пламени, были использованы в качестве исходных при численном моделировании баллистического эксперимента с ВЗКГ.

На основе полученных данных предложена модель конвективного горения ВЗКГ в условиях выстрела. Разработана компьютерная программа расчета внутрибаллистических параметров. При разработке программы использована классическая модель выстрела, модифицированная с тем, чтобы учесть эффекты постепенного воспламенения ВЗКГ в режиме конвективного горения и охвата горением наружной поверхности ингибированных зерен пороха. Проведены калибровка и тестирование программы с помощью экспериментов, выполненных в лабораторной ствольной установке, при изменении в широком диапазоне параметров установки, веса и свойств ВЗКГ. Результаты численного моделирования демонстрируют возможность получить удовлетворительное согласие не только по параметрам выстрела (дульной скорости, максимальному давлению), но и диаграмме давление-время. Результаты численного моделирования могут быть использованы для оптимизации свойств ВЗКГ и прогнозирования параметров выстрела в установках различного типа.

Высокая прогрессивность и плотность ВЗКГ позволяют при неизменном максимальном давлении выстрела существенно (до 30%) увеличить концентрацию энергии в зарядной камере и наивыгоднейшую плотность заряжания до 1.25 кг/дм^3 .

Литература

1. Сулимов А. А., Ермолаев Б. С. Квазистационарное конвективное горение в энергетических материалах с низкой пористостью (часть 1) "Химическая физика", 1997, т. 16, №9, с.51-721 и (часть 2) "Химическая физика", 1997, т.16, №10, с.77-97.
2. Сулимов А. А., Королев В. П., Михайлов Ю. М. и др. Патент РФ №2153144 «Метательный заряд» от 20.07.2000 г.