

ПРИСОЕДИНЕННЫЙ ВЫСОКОПЛОТНЫЙ ЗАРЯД КОНВЕКТИВНОГО ГОРЕНИЯ В КОМБИНИРОВАННОЙ СХЕМЕ ВЫСТРЕЛА

Ермолаев Б. С., Сулимов А. А., Романьков А. В.

Институт химической физики им Н. Н. Семенова РАН, Москва.

Согласно теоретическим оценкам [1, 2], комбинированная схема выстрела с частью заряда, присоединенной к метаемому телу и сгорающей в ходе движения по стволу, способна дать значительный прирост дульной скорости. Однако экспериментальные достижения до сих пор остаются скромными, поскольку воспламенение и горение присоединенного заряда протекает в крайне жестких условиях и требует серьезного изучения. Присоединенный заряд должен воспламеняться, когда давление в камере приближается к максимуму, и сгорать на спадающей ветви диаграммы давления с высокой, желательной возрастающей по мере горения заряда скоростью, оставаясь в тесном контакте с метаемым телом. Фактически, необходимо научиться управлять горением присоединенного заряда, сохраняя его целостность при движении по стволу и целенаправленно варьируя условия воспламенения, скорость конвективного распространения пламени по заряду и интенсивность горения.

В докладе представлены результаты исследования, в котором в качестве присоединенного заряда опробован блочный высокоплотный заряд конвективного горения (ВЗКГ), изготавливаемый прессованием в виде шашек нужной формы из одноканальных зерен пироксилинового пороха, покрытых по наружной поверхности тонкой пленкой поливинилбутирала (ПВБ) [3, 4]. Опыты проводили в 23-мм лабораторной гладкоствольной установке, имеющей ствол длиной 2.06 м. По длине зарядной камеры и вдоль ствола размещались пьезокварцевые датчики давления. Дульная скорость измерялась с помощью рам-мишенного устройства. Присоединенный заряд собирался из нескольких шашек, бронировался по боковой поверхности тонким слоем силиконовой пасты и приклеивался к дну метаемого тела. Для изготовления блочных зарядов использовались тонко-сводные пороха марок ВТМ и ВУ, а также пористый зерненный порох СФНЦ. Часть заряда, размещаемая в камере, имела насыпную плотность и состояла из 7-канального зерненного пороха марки 4/7. Метаемые тела массой 35 и 104 г изготавливались в виде цилиндра диаметром 23 мм из дуралюмина и стали. Сборка из метаемого тела и присоединенного заряда вставлялась в ствол таким образом, чтобы открытый торец присоединенного заряда приходился на вход ствола. Воспламенитель размещался между камерной и присоединенной частями заряда.

Пример регистрации, полученной в типичном опыте, дан на рис. 1. Там же дана траектория перемещения снаряда по стволу, которая получена обработкой переднего фронта сигналов, регистрируемых датчиками, как отметчиков времени. Присоединенный заряд массой 50 г и длиной 87 мм изготовлен из пороха ВТМ+1.4% ПВБ. Полная масса заряда 98.4 г, масса метаемого тела 35 г. Такой же пример, когда половина присоединенного заряда изготовлена из пороха ВТМ с 1.4% ПВБ, а другая половина, ближняя к метаемому телу, из пористого пороха СФНЦ+2.5% ПВБ, приведен на рис. 2. Согласно обработке манометрических измерений, порох СФНЦ сгорает в несколько раз быстрее, чем порох ВТМ. Видно, что быстрое горение СФНЦ дает вторичный горб на спадающей ветви диаграммы давления в камере.

Для оценки прироста дульной скорости за счет присоединенного заряда проводились контрольные серии опытов с одним камерным зарядом из пороха 4/7. В этих сериях метаемое тело имело кольцевой буртик диаметром 23.2 мм, чтобы создать давление формования. Варьируя массу заряда (56-80 г) и объем камеры, получали реперные зависимости дульной скорости от максимального давления в камере, последняя величина изменялась в диапазоне 250-400 МПа. Сводные данные в виде зависимости дульной скорости от максимального давления в камере для 35-г метаемого тела приведены на рис. 3. В опытах по комбинированной схеме масса камерного заряда была 48.4 г, варьировались масса присоединенного заряда от 40 до 80 г и плотность блока, часть заряда в количестве от 15 до 25 г заменялась порохом другой марки. По результатам измерений опыты можно разбить на две группы, каждая локализуется вблизи соответствующей средней линии. Первую группу составляют опыты с присоединенным зарядом, который

фабриковался либо из пороха ВТМ, либо из порохов ВТМ и ВУ. Прирост дульной скорости, достигнутый в этой группе, по сравнению с реперными опытами на порохе 4/7 составил около 250 м/с при одинаковом максимальном давлении в камере. Во второй группе часть присоединенного заряда заменяли пористым порохом СФНЦ. В этих опытах прирост дульной скорости по сравнению с реперными опытами увеличился и превысил 350 м/с, что составило более 23 % от величины дульной скорости для насыпного заряда из 4/7. Можно также отметить небольшой положительный эффект, который наблюдается при увеличении массы присоединенного заряда.

Аналогичные сводные данные для 104-г метаемого тела даны на рис. 4. В опытах по комбинированной схеме масса камерного заряда равна 41 г, варьировались масса присоединенного заряда от 20 до 55 г и плотность блока, часть заряда (в количестве от 5 до 10 г) заменялась порохом ВУ. Результаты опытов также распадаются на две группы. Первую группу составляют опыты с присоединенным зарядом из пороха ВТМ. В опытах второй группы часть

присоединенного заряда, примыкающего к дну метаемого тела, изготовлена из ВУ. В опытах второй группы на диаграммах давления в камере появляется второй горб. Уменьшая массу части присоединенного заряда из пороха ВУ до 5-6 г можно добиться, чтобы амплитуда второго горба была ниже первого. Это обеспечивает максимальный прирост дульной скорости, равный 200 м/с, что составляет около 19 % от величины дульной скорости для насыпного заряда из 4/7.

Записи давления, полученные в разных точках по длине ствола, были использованы, чтобы построить профили давления в заснарядном пространстве в различные моменты времени. Анализ этих данных показывает, что завершение стадии воспламенения и горение присоединенного заряда происходят после максимума давления на спадающей ветви диаграммы давления. Пространственные профили давления трансформируются, на них появляются платообразные участки и участки выпуклостью вверх. Более того, как видно из примера, показанного на рис. 5, в течение некоторого времени давление у дна снаряда может даже оказаться выше, чем давление в камере. Специальные опыты, в которых в небольшом углублении донного торца метаемого тела размещали 0.5-г навеску быстрогорящего вещества БТФ, дающую при быстром сгорании волну амплитудой 10-20 МПа, показали, что горение достигает дна снаряда в момент времени ~ 1.5 мс. К этому моменту метаемое тело находится в стволе на расстоянии 0.4-0.65 м.

Итак, проведенное исследование подтвердило перспективность применения ВЗКГ в качестве присоединенного заряда для повышения эффективности выстрела. ВЗКГ сохраняет свою целостность в процессе движения по стволу, его воспламенение на всю длину завершается за максимумом давления на спадающем участке диаграммы давления. Существенный прирост дульной скорости по отношению к зарядам классической схемы из 7-канального пороха получен при двух разных массах метаемого тела, различающихся втрое. Наибольшая величина прироста составила 23 %. Очевидно, имеются возможности дальнейшего повышения дульной скорости за счет оптимизации свойств заряда. Полезным инструментом исследований в этом направлении может стать численное моделирование. Модель горения ВЗКГ ранее была предложена в [5]. Результаты расчетов находятся в качественном согласии с экспериментом. В докладе будут рассмотрены основные проблемы и пути улучшения моделирования, цель которого получить количественное согласие с экспериментом в схеме выстрела с присоединенным зарядом.

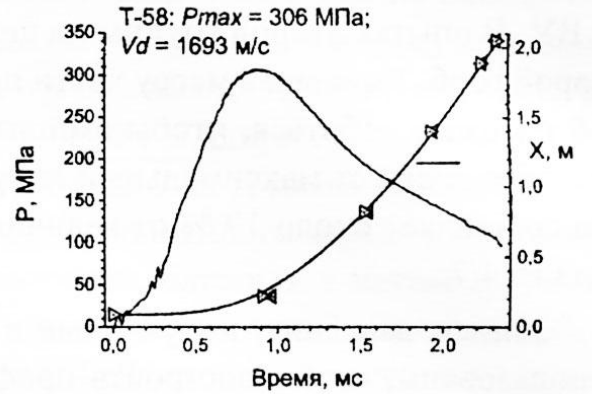
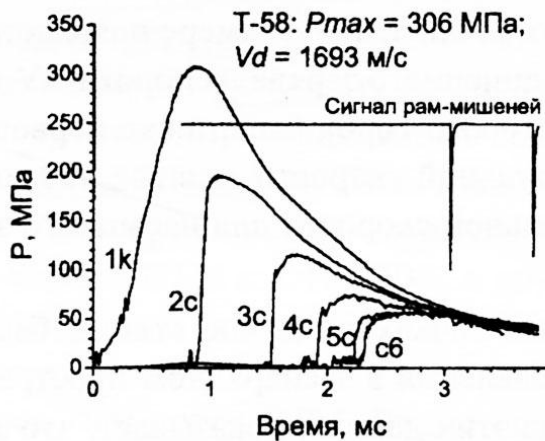


Рис. 1.

Пример регистрации давления в 6 точках по длине ствола (координаты датчиков 1к (камера), 2с (0,22 м), 3с (0,82 м), 4с (1,4 м), 5с (1,89 м) и 6с (2,06 м)) и запись рам-мишеней, а также траектория движения метаемого тела по стволу. Присоединенный заряд массой 50 г из пороха ВТМ+1.4% ПВБ

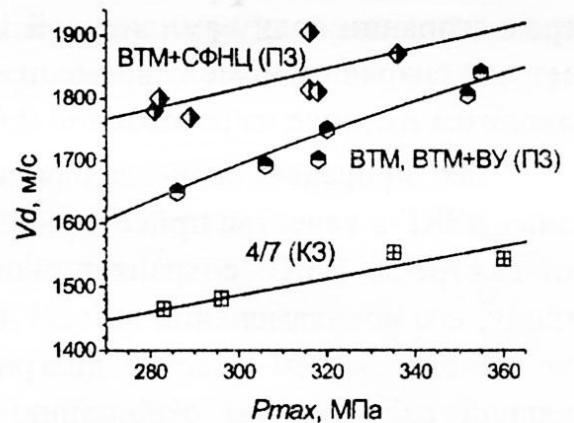
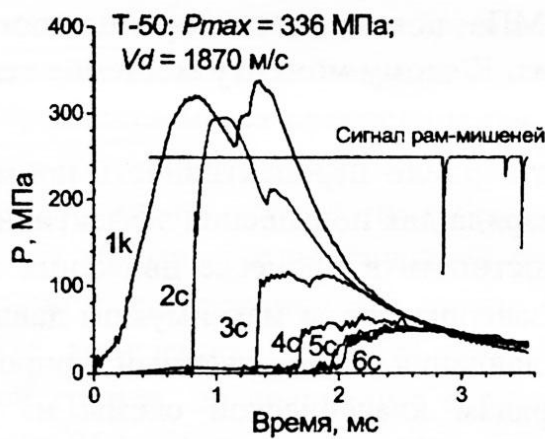


Рис. 2. Пример регистрации давления в камере и по длине ствола и записи рам-мишеней, 50-г; присоединенный заряд из порохов ВТМ+1.4% ПВБ и СФНЦ+2.5% ПВБ в равных долях

Рис. 3. Сводные данные, демонстрирующие прирост дульной скорости для выстрела с присоединенным зарядом. 35-г метаемое тело

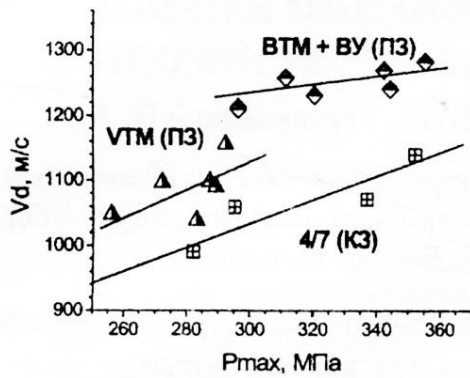


Рис. 4. Сводные данные, демонстрирующие прирост дульной скорости для выстрела с присоединенным зарядом. 104-г метаемое тело

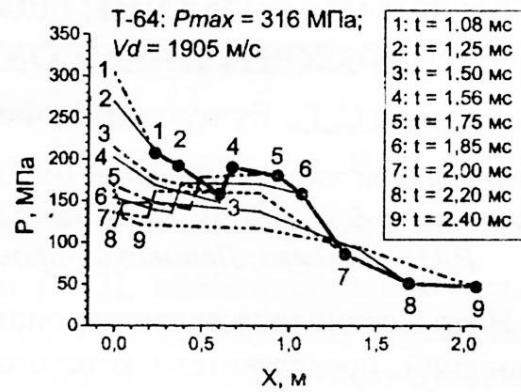


Рис. 5. Пример пространственных профилей давления в различные моменты времени. 70-г присоединенный заряд с 15 г пороха СФНЦ. Черные кружки - метаемое тело

Список литературы

1. P. G. Baer and I. W. May. Traveling-Charge Effect // Gun Propulsion Technology, V. 109, Progress in Astronautics and Aeronautics, Washington: AIAA Inc., 1988, P. 499.
2. Хоменко Ю. П., Ищенко А. Н., Касимов В. З. Математическое моделирование внутри-баллистических процессов в ствольных системах. // Изд-во СО РАН. Новосибирск, 1999.
3. Сулимо А. А., Королев В. П., Михайлов Ю. М. др. Метательный заряд // Патент РФ на изобретение № 2153144 от 20.07.2000.
4. Сулимо А. А., Ермолаев Б. С, Королев В. П., Михайлов Ю. М. и др. // Материалы 2-й Всерос. конференции «Энергетические конденсированные системы», Черногловка, 2004, с. 226.
5. Ермолаев Б. С, Сулимо А. А. и др. // Журнал Химич. физика, 2001, т. 20, №1, с. 84.

