

## ПРИСОЕДИНЕННЫЙ ВЫСОКОПЛОТНЫЙ ЗАРЯД КОНВЕКТИВНОГО ГОРЕНИЯ В КОМБИНИРОВАННОЙ СХЕМЕ ВЫСТРЕЛА: НОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

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

ИХФ РАН  
г. Москва, Россия

Комбинированная схема выстрела, когда часть заряда присоединяется к метаемому телу и сгорает в ходе движения по стволу, остается приоритетным предметом наших исследований. Два года назад, на данной ежегодной научной конференции, мы представили работу [1], в которой в качестве присоединенного заряда был опробован высокоплотный заряд конвективного горения (ВЗКГ) [2, 3], изготавливаемый прессованием в виде шашек нужной формы из одноканальных зерен пироксилинового пороха, покрытых по наружной поверхности тонкой пленкой полимера. Опыты, проведенные в 23-миллиметровой гладкоствольной лабораторной установке, показали хорошую перспективу, дав стабильные воспроизводимые результаты с заметным приростом дульной скорости по сравнению с зарядами классической конфигурации при равной величине максимального давления. Вместе с тем, важно отметить, что горение присоединенного заряда протекает в необычайно жестких условиях и требует дальнейшего изучения. Присоединенный заряд должен воспламеняться, когда давление в камере приближается к максимуму, сохранять свою целостность при движении по стволу и сгорать на спадающей ветви диаграммы давления с высокой, желательно возрастающей по мере горения заряда скоростью, оставаясь в тесном контакте с метаемым телом. Фактически необходимо научиться управлять горением присоединенного заряда, целенаправленно варьируя условия воспламенения, скорость конвективного распространения пламени по заряду и интенсивность горения.

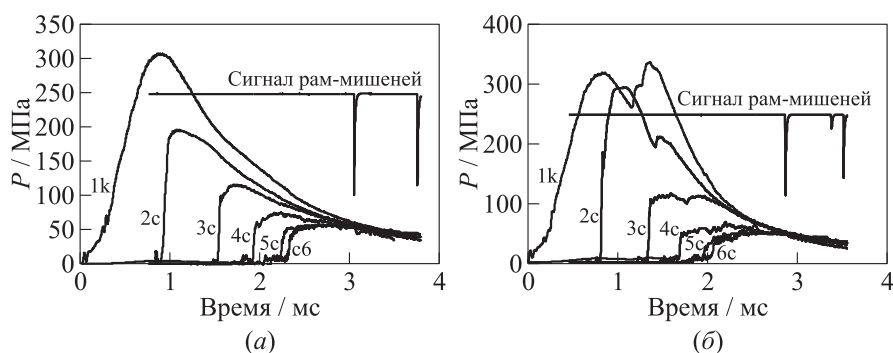
В данной работе приведены новые экспериментальные данные применительно к комбинированной схеме выстрела, полученные с использованием ВЗКГ в качестве присоединенного заряда. Варьируя свойства присоединенного заряда, авторы попытались получить как можно больший прирост дульной скорости для двух метаемых тел разной массы (коэффициент  $C_q = 3$  и 9). Данные с тяжелым телом позволяют скорректировать существующее мнение [4] о том, что присоединенный заряд целесообразно применять лишь при высоких скоростях метания. Записи давления в разных точках по длине

ствола использованы, чтобы рассмотреть особенности горения присоединенного заряда.

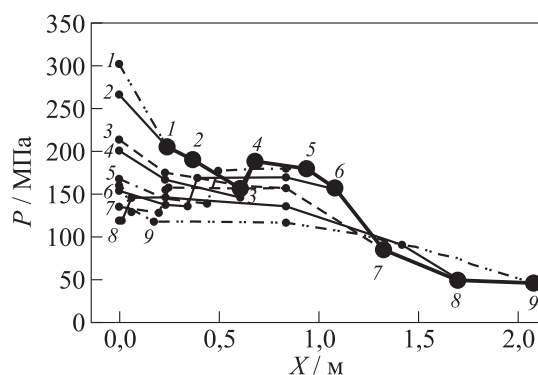
Основным материалом для изготовления присоединенного заряда служил одноканальный мелкозерненный пироксилиновый порох марки ВТМ. В ряде опытов, чтобы проверить роль скорости горения, порох ВТМ частично заменяли порохом ВУ с зернами меньшего размера или пористым быстрогорящим сферическим порохом марки СФНЦ. Зерна пороха по наружной поверхности покрывали тонкой пленкой поливинилбутирала (ПВБ). Зерна прессовали с подогревом в шашки заданной плотности. Присоединенный заряд собирали из нескольких шашек, бронировали по боковой поверхности тонким слоем силиконовой пасты и приклеивали ко дну метаемого тела. 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. Опыты проводили в 23-миллиметровой 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.

Рассмотрим результаты опытов с легким метаемым телом массой 35 г. Масса камерной части заряда во всех опытах равна 48,4 г. Два характерных примера регистраций даны на рис. 1. Присоединенный заряд массой 50 г и длиной 87 мм в одном опыте (рис. 1, *а*) изготовлен из пороха ВТМ + 1,4% ПВБ, а в другом опыте (рис. 1, *б*) половина заряда, примыкающая к метаемому телу, изготовлена из пороха СФНЦ + 2,6% ПВБ. Горение присоединенного заряда в первом случае проявляется в том, что на спадающей ветви диаграммы давления в камере появляется участок, имеющий заметную выпуклость вверх. Во втором случае на аналогичной диаграмме имеется вторичный горб, вызванный быстрым горением пороха СФНЦ.

Используя записи давления, полученные в камере и в разных точках по длине ствола, можно построить профили давления в заснарядном пространстве в различные моменты времени. Пример показан на рис. 2. Анализ показывает, что завершение стадии воспламенения и горение присоединенного заряда приходятся на спадающую ветвь диаграммы давления в камере после достижения максимума давления и вызывают трансформацию пространственных профилей давления. На профилях появляются платообразные участки и участки выпуклостью вверх. Более того, 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-граммовую навеску быстрого-



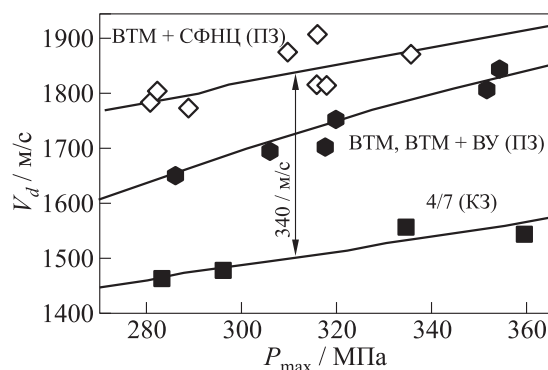
**Рис. 1** Примеры регистрации давления в 6 точках по длине ствола (координаты датчиков: 1к (камера), 2с (0,22 м), 3с (0,82 м), 4с (1,4 м), 5с (1,89 м) и 6с (2,05 м)) и записей рам-мишеней. Легкое 35-граммовое метаемое тело. Присоединенный заряд массой 50 г изготовлен из пороха ВТМ + 1,4% ПВБ (Т-58;  $P_{\max} = 306$  МПа;  $V_d = 1693$  м/с) (а) и в равных долях из пороха ВТМ + 1,4% ПВБ и СФНЦ + 2,5% ПВБ (Т-50;  $P_{\max} = 336$  МПа;  $V_d = 1870$  м/с) (б)



**Рис. 2** Эволюция во времени пространственных профилей давления в заснарядном пространстве (35-граммовое метаемое тело; 70-граммовый присоединенный заряд из порохов ВТМ + 1,4% ПВБ (55 г) и СФНЦ + 2,5% ПВБ (15 г); Т-64;  $P_{\max} = 316$  МПа;  $V_d = 1905$  м/с): 1 —  $t = 1,08$  мс; 2 — 1,25; 3 — 1,50; 4 — 1,56; 5 — 1,75; 6 — 1,85; 7 — 2,00; 8 — 2,20; 9 —  $t = 2,40$  мс

рящего вещества БТФ, дающую при быстром сгорании волну амплитудой 10–20 МПа, хорошо различимую на записях давления, показали, что воспламенение присоединенного заряда завершается и горение достигает таблетки БТФ в момент времени  $\sim 1,5$  мс. К этому времени метаемое тело находится в стволе на расстоянии 0,4–0,65 м.

Изучая пути повышения дульной скорости, авторы изменяли массу и плотность присоединенного заряда и заменяли часть пороха ВТМ материа-



**Рис. 3** Сводные данные, демонстрирующие прирост дульной скорости для выстрела с присоединенным зарядом (35-граммовое метаемое тело)

лом, горящим с более высокой скоростью. В этих опытах вместе с дульной скоростью изменялось и максимальное давление в камере. Полученные данные в координатах дульная скорость – максимальное давление приведены на рис. 3. Чтобы оценить прирост дульной скорости, достигнутый за счет присоединенного заряда, авторы провели контрольные опыты по классической схеме с зарядом из пороха 4/7 массой 56–80 г. Эти опыты также представлены на рис. 3.

Результаты опытов с присоединенным зарядом можно разбить на две группы, каждая локализуется вблизи соответствующей средней линии. Первую группу составляют опыты, в которых присоединенный заряд 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, при равном максимальном давлении составил около 250 м/с. В опытах второй группы часть присоединенного заряда заменяли пористым быстрогорящим порохом СФНЦ. В этих опытах прирост дульной скорости по сравнению с реперными опытами увеличился и достиг 340 м/с, что составило более 23% от величины дульной скорости для насыпного заряда из пороха 4/7.

Аналогичное исследование проведено для 104-граммового метаемого тела. В опытах по комбинированной схеме масса камерного заряда равна 41 г; варьировались масса присоединенного заряда от 20 до 55 г и его плотность. Часть заряда (в количестве от 5 до 10 г), примыкающая к дну метаемого тела, заменялась порохом ВУ. Результаты опытов в координатах дульная скорость – максимальное давление также распадаются на две группы. В первую группу входят опыты с присоединенным зарядом из пороха ВТМ. Вторую группу, в целом демонстрирующую более высокую дульную скорость, составляют опыты с частью присоединенного заряда из пороха ВУ. В опы-

тах 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. Итак, экспериментально показано, что присоединенный заряд за счет частичного переноса горения из камеры в ствол вызывает значительную трансформацию профилей давления в заснарядном пространстве, создавая на них платообразные участки и горбы. В течение некоторого времени давление у дна снаряда может даже оказаться выше, чем давление в камере. Одновременно удается сжигать больше пороха без повышения максимального давления, тем самым оба фактора способствуют повышению дульной скорости. Прирост дульной скорости по отношению к зарядам классической схемы для легкого снаряда ( $C_q = 3$ ) достиг 340 м/с или 23% от величины дульной скорости с классическим зарядом. В случае тяжелого снаряда эффект присоединенного заряда оказался немного ниже (около 19%).

Работа выполнена при поддержке программы Отделения химии и наук о материалах РАН № 4 «Разработка научных основ получения нового поколения высокоэнергетических материалов».

## Литература

1. Ермолаев Б. С., Сулимов А. А., Храповский В. Е. Присоединенный заряд: результаты исследований // Горение и взрыв / Под ред. С. М. Фролова. — М.: ТОРУС ПРЕСС, 2011. Вып. 4. С. 255–261.
2. Сулимов А. А., Королев В. П., Михайлов Ю. М. и др. Метательный заряд. Патент РФ на изобретение № 2153144 от 20.07.2000.
3. Сулимов А. А., Ермолаев Б. С., Королев В. П. и др. Исследования конвективного горения и внутрибаллистического процесса высокоплотных пороховых зарядов в ствольных установках // Мат-лы 2-й Всеросс. конф. ЭКС. — Черноголовка, 2004. С. 226.
4. Хоменко Ю. П., Ищенко А. Н., Касимов В. З. Математическое моделирование внутрибаллистических процессов в ствольных системах. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. 256 с.