

## ВЛИЯНИЕ ИНЕРТНЫХ ДОБАВОК НА СКОРОСТЬ МЕТАНИЯ ПЛАСТИН СМЕСЕВЫМИ ВЗРЫВЧАТЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ

*И. М. Воскобойников, А. А. Котомин, Н. Ф. Воскобойникова  
(Москва)*

Заряды ВВ, применяемые в практической деятельности, часто содержат добавки, которые за времена превращений в детонационной волне могут рассматриваться как инертные. Снижение параметров детонации в этих случаях определяется плотностью, сжимаемостью и дисперсностью добавки, о чем накоплен значительный объем экспериментальных данных. В то же время влияние введения инертных добавок на метательную способность смесевых ВВ изучено значительно меньше. Более того, наблюдаемый эффект различен для таких видов испытаний на метательную способность, как разлет медных оболочек, бризантометр, метание пластин с торцевой поверхности заряда. Например, при введении в заряды ВВ тяжелых добавок бризантность остается примерно на том же уровне или несколько возрастает [1], а скорости разлета медных оболочек заметно падают [2]. Подобные данные практически отсутствуют для метания пластин с торцевой поверхности зарядов малой толщины, хотя этот вид испытаний моделирует некоторые условия применения ВВ и наиболее удобен для теоретического рассмотрения.

Результаты измерения скоростей метания и бризантности иногда используются для оценки кинетики протекания реакций за фронтом волны и в том числе сгорания металлических и иных добавок. Исследования влияния инертных добавок на скорость метания пластин смесевыми зарядами позволит проверить и скорректировать выводы, которые делаются относительно добавок, способных сгорать за фронтом волны.

Использовалась следующая постановка опытов. Детонация заряда исследуемого ВВ диаметром 40 и высотой 10 мм инициировалась ударом алюминиевой пластины толщиной 1 мм, подлетающей со скоростью около 2,5 мм/мкс. На торец заряда, противоположный месту инициирования, помещалась стальная (толщина 1 мм) или алюминиевая пластина (толщина 1,44 мм). Скорости метания пластин измерялись после пролета базы 10—15 мм, когда процесс разгона пластины завершен. Непосредственно в опыте регистрировались скорости ударных волн в наборе плексигласовых пластин, по которому ударяла метаемая пластина. Одновременно определялась разновременность удара отдельных участков пластин, что позволяло контролировать ее целостность. Для того, чтобы вести измерения в диапазоне давлений, где ударные адибаты стали и плексигласа наиболее достоверны, перед плексигласовыми пластинами помещалась медная пластина толщиной 1 мм.

Искомая скорость метания находилась по известной скорости ударной волны в плексигласе в ходе совместного рассмотрения ударных адиабат плексигласа ( $D = 2,57 + 1,536u$ ), меди ( $D = 4,0 + 1,5u$ ) и материала пластины (стали  $D = 3,8 + 1,56u$ , алюминия  $D = 5,25 + 1,39u$ ). Точность определения скорости метаемой пластины составляла около 0,1 мм/мкс. Для большинства исследованных смесевых ВВ измерены также скорости детонации с применением электроконтактных датчиков и регистрацией временных интервалов на развертке осциллографа ОК-15 М. Опыты проводились с зарядами диаметром 20 и 40 мм, погрешность измерений не превышала 0,1 мм/мкс.

Выполнены три серии опытов для смесей с добавками: в первой сохранялось неизменным массовое содержание добавки (0,20) при варьировании ее плотности и дисперсности, во второй сохранялось неизменным объемное (около 0,17) содержание добавки (при этом массовое содержание изменялось от 0,1 для полиэтилена до 0,71 для вольфрама) и в третьей, в дополнение к опытам первой и второй, для полиэтилена, по-

Таблица 1

Состав	$\rho_{01}$ , г/см <sup>3</sup>	$a$ , мм	$\rho_0$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_{00}$ , г/см <sup>3</sup>	$\Pi$ , %	$D$ , мм/мкс	$w_1$ , мм/мкс	$w_2$ , мм/мкс
Октоген/ПС 97/3			1,77	1,82	4,3	8,60	2,90	2,05
Октоген/ПС/полиэтилен 77/3/20	0,92		1,50	1,84	2,0	7,95	2,30	1,58
Октоген/ПС/ПФ 77/3/20	2,23		1,84	1,82	3,2	7,90	2,64	1,80
	1,98	150	1,79	1,80	3,8	7,95	2,61	1,82
Октоген/ПС/хлористый калий 77/3/20		12	1,80	1,81	3,2	8,00	2,64	
Октоген/ПС/алюминий 77/3/20	2,7	200	1,89	1,81	3,6	8,20	2,74	1,98
		10	1,88	1,81	4,1	7,95	2,86	1,98
Октоген/ПС/тальк 77/3/20	2,7	15	1,88	1,81	4,1	7,70	2,57	1,76
Гексоген/воск 94/6			1,67	1,76	2,3	8,35		1,90
Гексоген/воск/алюминий 75/5/20	2,7	10	1,79	1,75	2,4	8,05		1,90
Октоген/ПС/медь 77/3/20	8,93	4	2,07	1,79	5,0	7,75	2,90	
Октоген/ПС/вольфрам 77/3/20	19,2	2	2,12	1,78	5,4	7,70	2,93	2,05

литетрафторэтилена (ПФ) и вольфрама изменялось массовое и объемное содержание добавки. Заряды формировались на основе смеси октогена с полисилоксаном (ПС) 97/3 и для сравнительных измерений — на основе смесей октогена и гексогена с воском.

Результаты измерений в первой серии опытов представлены в табл. 1. Указаны состав, плотность заряда  $\rho_0$ , скорость детонации  $D$  смеси, скорости метания алюминиевой  $w_1$  и стальной  $w_2$  пластин, плотность  $\rho_{01}$  и размер  $a$  частиц добавки, пористость заряда  $\Pi$ , плотность ВВ в заряде  $\rho_{00}$  (отношение массы ВВ к объему ВВ и воздуха), найденная из выражения

$$1/\rho_0 = (1 - \alpha - \beta)/\rho_{00} + \alpha/\rho_{01} + \beta/\rho_{02},$$

где  $\alpha$  — массовая доля исследуемой добавки;  $\beta$  — массовая доля и  $\rho_{02}$  — плотность связующего (0,97 г/см<sup>3</sup> для полисилоксана и 0,92 г/см<sup>3</sup> для воска). Опыты проведены при близких значениях  $\rho_{00}$  и  $\Pi$ .

Основной результат первой серии опытов — снижение скорости метания меньше для более плотных добавок (рис. 1, 2, где  $\Delta w$  — разница скоростей метания зарядами базового и исследуемого ВВ при близких  $\rho_{00}$ ). Отметим также малую зависимость скорости метания от изменения дисперсности добавки в исследованном интервале на примере смесей с хлористым калием и алюминием. Алюминий и тальк имеют близкие начальные плотности, но тальк претерпевает при ударном сжатии превращение с увеличением плотности, что находит отражение в большем снижении скорости детонации смесевых зарядов (см. табл. 1) и брызганности [1]. Скорости метания пластин продуктами взрыва зарядов, содержащих алюминий, выше, чем содержащих то же количество талька близкой дисперсности.

Эффект введения алюминия различной дисперсности в заряды со связующим в настоящей работе был качественно иным, чем при введении алюминия в заряды гексогена без связки [3]. В [3] для смесей с высокодисперсным порошком алюминия получено заметное повышение скоростей метания стальных пластин, чего не было в описываемых опытах. Введение грубодисперсного порошка алюминия при наличии и отсутствии связки приводило к близким эффектам.

Во второй серии опытов неизменным оставалось объемное содержание добавки (около 0,17), а массовая доля изменялась

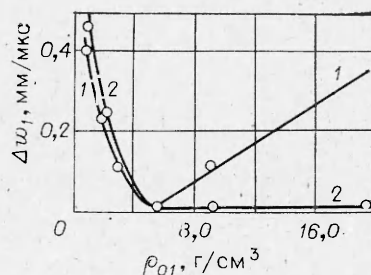


Рис. 1.

Таблица 2

Состав	$\rho_0$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_{00}$ , г/см <sup>3</sup>	П, %	D, мм/мкс	$w_1$ , мм/мкс	$w_2$ , мм/мкс
Октоген/ПС/полиэтилен 87/3/10	1,62	1,83	3,0	8,25	2,50	—
Октоген/ПС/политетрафторэтилен 75,8/3/21,2	1,85	1,83	3,1	7,80	2,67	—
Октоген/ПС/хлористый калий 77,3/3/19,3	1,80	1,82	3,7	8,00	2,66	—
Октоген/ПС/алюминий 72,4/3/24,6	1,90	1,79	4,5	8,05	2,83	—
Октоген/ПС/медь 45,8/1,8/52,4	2,83	1,66	9,9	—	2,48	—
Октоген/ПС/вольфрам 27,8/1,2/71	4,35	1,54	14,9	—	1,90	1,10
Октоген/воск 94/6	1,49	1,54	18,2	7,75	—	1,60
Октоген/воск/сернистый барий ( $\rho_{01} = 4,5$ г/см <sup>3</sup> ) 62,3/3,3/34,4	1,62	1,69	10,0	8,20	2,60	1,80
	2,08	1,69	8,4	—	2,62	1,79

в соответствии с плотностями добавок (табл. 2). Пористости зарядов  $\Pi = (1 - \rho_0/\rho_{\max}) \cdot 100\%$ , где  $\rho_{\max}$  — максимально возможная плотность состава, с различными добавками заметно отличались. Сравнение проводилось при плотностях зарядов с близкими значениями  $\rho_{00}$ , базовыми составами при этом были смеси октогена и ПС (97/3) с  $\rho_0 = 1,77$  г/см<sup>3</sup>, октогена и воска (94/6) с  $\rho_0 = 1,49$  и  $1,62$  г/см<sup>3</sup>. Зависимость скорости метания от плотности добавки имеет экстремум в диапазоне 3—5 г/см<sup>3</sup> (см. рис. 1, I), что объясняется большей сжимаемостью легких добавок и возрастанием весовой доли добавок при увеличении их плотности.

Для пояснения хода кривой I на рис. 1 можно воспользоваться оценками, выполненными для несжимаемой добавки в предположении пропорциональности скорости метания стальной пластины начальной скорости контактной границы [3]. Можно показать, что для несжимаемых добавок, которые являются первым приближением при рассмотрении тяжелых добавок, давление детонации сохраняется тем же, что и для заряда без добавок с плотностью  $\rho_{00}$ , а  $\rho_0 D = \rho_{00} D_{10} / \sqrt{1 - \alpha}$ , где  $D_{10}$  — скорость детонации заряда без добавок при плотности  $\rho_{00}$ . Вычисляя  $u_1$  контактной границы из приближенного выражения

$$u_1 = A \sqrt{1 + 2p_1 / (\rho_m b A^2) - 1}, \quad A = (\rho_0 D + \rho_m c_0) / (2b \rho_m),$$

где  $\rho_m$  — плотность материала пластины;  $D_1 = c_0 + bu$  — запись ударной адиабаты материала пластины, имеем на контактной границе сталь — продукты взрыва октогена снижение  $u_1$  на 2,6% при  $\alpha = 0,2$ , на 5% при  $\alpha = 0,36$ , на 8% при  $\alpha = 0,5$  и на 24% при  $\alpha = 0,71$ . Снижение скорости контактной границы при  $\alpha \leq 0,36$  мало превышает возможную погрешность измерения, а при  $\alpha = 0,71$  составляет существенную величину.

На основе данных табл. 1—3 можно проследить зависимость  $\Delta w$  от массового содержания в заряде полиэтилена, политетрафторэтилена и вольфрама. При введении в ВВ полиэтилена снижение скорости метания почти пропорционально его массовому содержанию (рис. 2, I) и при рав-

Таблица 3

Состав	$\rho_0$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_{00}$ , г/см <sup>3</sup>	П, %	D, мм/мкс	$w_1$ , мм/мкс	$w_2$ , мм/мкс
Октоген/ПС 97/3	1,77	1,82	4,3	8,60	2,90	—
Октоген/ПС/полиэтилен 92/3/5	1,68	1,81	4,5	8,35	2,62	—
Октоген/ПС/полиэтилен 82/3/15	1,56	1,83	2,5	8,10	2,24	—
Октоген/ПС/полиэтилен 72/3/25	1,47	1,90	0,0	7,90	2,22	—
Октоген/ПС/политетрафторэтилен 87/3/10	1,80	1,82	3,7	8,25	2,88	—
Гексоген/воск/вольфрам 48/2/50	2,78	1,54	16,8	—	—	1,46

ном  $\alpha$  заметно больше, чем для других исследованных добавок. Вид зависимости скорости метания смешевыми зарядами от содержания в них политетрафторэтилена (кривая 2) и вольфрама (кривая 3) тот же, что и для несжимаемой добавки (кривая 4). Для зарядов с вольфрамом имеется не только качественное, но и количественное согласие.

Сравнивая оценки метательного действия смешевых ВВ при различных видах испытаний, отметим близость их для торцевого и бокового метания, хотя количественное сравнение затруднено из-за отсутствия совпадающих объектов. Имеется согласие в изменении скоростей метания и бризантности зарядов, содержащих тальк и алюминий, однако эффекты при введении больших количеств вольфрама сильно различаются (бризантность изменяется значительно меньше скорости метания).

Итак, снижение скорости метания металлических пластин с торцевой поверхности зарядов, содержащих инертные добавки, в большой степени определяется при равном объемном или весовом содержании плотностями материалов добавки. Для зарядов со связующим получена слабая зависимость скорости метания от дисперсности добавки, в том числе и алюминия. Особенности динамической сжимаемости материалов добавок находят отражение в изменении скоростей метания зарядами смешевых ВВ.

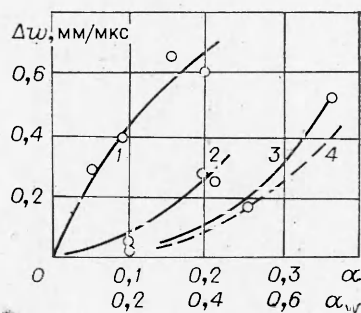


Рис. 2.

зарядов, содержащих тальк и алюминий, однако эффекты при введении больших количеств вольфрама сильно различаются (бризантность изменяется значительно меньше скорости метания).

Поступила в редакцию 15/II 1982

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. Я. Апин, Е. П. Бардин, Н. Ф. Велина.— В сб.: Взрывное дело. № 52/9. М.: Госгортехиздат, 1963.
2. J. W. Kury, H. C. Hornig. Simpos. N. D. P. Preprints. Paris, 1978.
3. И. М. Воскобойников, Н. Ф. Воскобойникова.— В сб.: Детонация. Матер. 2 Всесоюз. совещания по детонации. Вып. 2. Черноголовка, 1981.

### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОСТОЯНИЯ ПРОДУКТОВ СФЕРИЧЕСКОЙ ДЕТОНАЦИИ

С. А. Быстров, В. А. Горев  
(Москва)

Рассматривается расходящаяся самоподдерживающаяся сферическая детонационная волна в газе. Существование такой волны доказано в [1, 2] и дано численное решение этой задачи.

В данной работе аналитически находится распределение параметров состояния продуктов сферической детонации. До тех пор, пока детонация не закончилась, движение ее продуктов автомодельно. Считая эти продукты идеальным газом, можно записать:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{2yz^2}{x[(x-y)^2 - z^2]}, \quad (1)$$

$$\frac{dz}{dx} = \frac{4\delta yz(x-y)}{(1-2\sigma)x[(x-y)^2 - z^2]}, \quad (2)$$

$$y_{x=1} = 1/2 - \delta, \quad (3)$$

$$z_{x=1} = 1/2 + \delta. \quad (4)$$