

ПАРАМЕТРЫ ВЗРЫВА ЗАРЯДОВ ИЗ ТРОТИЛА, СОДЕРЖАЩИХ БЛОКИ ИЗ ВЫСОКОПЛОТНЫХ МЕТАЛЛОФТОРОПЛАСТОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

В.Б. Яшин¹, В.В. Алексеев¹, С.П. Ходырев¹, А.В. Малкин¹,
А.И. Малкин², Н.А. Имховик³, В.В. Селиванов³, А.К. Симонов³

¹ОАО “ГосНИИмашиностроения”, г. Дзержинск, Нижегородская обл., Россия

²Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН,
Москва, Россия

³МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

e-mail: imkhovik-n@mail.ru

Рассмотрено одно из перспективных направлений исследований по усилению поражающего действия боеприпасов — включение в их состав, так называемых реакционных материалов (Reactive Material — RM), из которых наибольший интерес вызывают металлофторопластовые композиции (МФК). Проведены расчетные оценки энергосодержания таких систем, которые в близких к стехиометрии смесях металла и ПТФЭ весьма велики и могут заметно превышать теплоту взрыва тротила.

В целях оценки потенциального вклада таких МФК в общее энерговыделение при взрыве зарядов ВВ в воздухе, а также их непосредственного влияния на характеристики фугасного действия в ближней зоне взрыва были проведены сравнительные эксперименты с зарядами чистого ТНТ и с комбинированными зарядами, состоящими из ТНТ и блока МФК в двух вариантах: МФС-1 (W-Al-ПТФЭ 87,5/2,5/10,0) и МФС-2 (W-Al-ПТФЭ 36/14,5/49,5). Показано, что замена части центрального объема ТНТ (~10%) на такой же объем МФС-1 практически не изменяет параметры взрыва ТНТ. А замена ТНТ на МФС-2, более энергоемкий, чем МФС-1, повышает параметры воздушной УВ на ~ 2...4% (а локально, по импульсу — до 30%). Оценки суммарного действия воздушной УВ и продуктов взрыва на стальные пластины показали, что в ближней зоне (до 1 м) комбинированные заряды оказывают заметно большее воздействие (до 10...28%), чем заряды из чистого ТНТ.

Ключевые слова: реакционные материалы, металлофторопластовые композиции, комбинированный заряд, фугасное действие, воздушная ударная волна.

THE EXPLOSIVE PARAMETERS OF THE TNT CHARGES CONTAINING BLOCKS OF HIGH-DENSITY METAL-PTFE COMPOSITIONS

V.B. Yashin¹, V.V. Alekseev¹, S.P. Khodyrev¹, A.V. Malkin¹,
A.I. Malkin², N.A. Imkhovik³, V.V. Selivanov³, A.K. Simonov³

¹ОАО “GosNII Mashinostroeniya”, Dzerzhinsk, Nizhnii Novgorod region, Russia

²Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry, RAS,
Moscow, Russia

³Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

e-mail: imkhovik-n@mail.ru

A promising area of research aimed at enhancing the damaging effect of ammunitions is discussed concerning the incorporation (as components) of the so-called reactive materials, from which the metal-PTFE compositions are of the greatest interest. The estimates of the energy content of these systems are calculated, which are very large for the near-stoichiometric mixtures of metal and PTFE, and may significantly exceed

the heat of explosion of TNT. In order to assess the potential contribution of these compositions to the total energy release in the explosion of explosive charges in the air and to evaluate their direct impact on characteristics of the explosive action in a near-field zone of the explosion, the comparative experiments were carried out with pure TNT charges and with combined charges, consisting of TNT and a block of the metal-PTFE compositions in two variants: MFC-1 (W-Al-PTFE 87.5/2.5/10.0) and MFC-2 (W-Al-PTFE 36/14.5/49.5). It is shown that the replacement of the central volume of TNT (10%) with the same amount of MFC-1 almost does not change the explosion parameters of TNT, while the TNT replacement with MFC-2 that is more energy intensive than the MFC-1 leads to the increase in the air shock-wave parameters by 2–4% (and locally, the impulse growth is up to 30%). Estimations of the total effect of the air shock wave and the explosion products on the steel plates have shown that combined charges have a greater impact (10–28%) than the charges of pure TNT in the near-field zone (up to 1 m).

Keywords: reactive material, metal-PTFE compositions, combined charge, explosive action, air shock wave.

В настоящее время ведутся интенсивные поисковые исследования по отработке новых принципов усиления поражающего действия артиллерийских боеприпасов (БП), боевых частей ракет и авиабомб за счет включения в их состав высокоплотных реакционноспособных материалов (PCM). За рубежом исследованиями PCM, называемых также реакционными материалами (Reactive Material — RM), активно занимаются более 20 ведущих научно-исследовательских организаций и фирм — разработчиков БП [1–3]. По сложившейся терминологии PCM (или RM) — это композиции двух или более твердых веществ, не являющихся взрывчатыми, в которых при высокоинтенсивной деформации или ударно-волновом воздействии может быть инициирована экзотермическая механохимическая реакция с дополнительным энерговыделением (в том числе благодаря химическому взаимодействию RM с материалами цели), что приводит к усилению кинетического, зажигательного и/или комбинированного (термобарического) поражающего воздействия, оказываемого как БП прямого попадания, так и БП, создающими поля поражения.

Наибольший интерес представляют PCM на основе металлов, в которых высокоэффективными окислителями по отношению к металлам выступают фторорганические полимеры, например политетрафторэтилен (ПТФЭ, он же фторопласт Ф-4 или тефлон $[C_2F_4]_n$) с содержанием фтора до 76% [4–9]. Проведенные расчетные оценки (табл. 1) показывают, что удельное (в МДж/кг) и в особенности объемное (в МДж/л) энергосодержание в этих металлофторопластовых смесях (МФС) и композициях (МФК) весьма велико и может заметно превышать теплоту взрыва тротила [10–14].

Данные параметры получены в упрощенных предположениях и носят оценочный характер. Параметры энергосодержания РМ-МФС соизмеримы с типичными пиротехническими составами и сравнимы с

Таблица 1

Плотность ρ , теплота взрыва $Q_{взр}$, теплота сгорания $Q_{ст}$ на воздухе и работа расширения $A_{ид}$ ПВ до атмосферного давления для некоторых РСМ (МФС, интерметаллиды, термиты, пиросоставы)

РСМ	% металла	ρ , г/см ³	$Q_{взр}$, МДж/кг	$Q_{ст}$, МДж/кг	$A_{ид}$, МДж/кг	$Q_{взр}$, МДж/л	$Q_{ст}$, МДж/л	$A_{ид}$, МДж/л
Стехиометрические составы с фторполимером								
Al+ПТФЭ	26	2,34	8,9	14,6	3,2	20,7	34,2	7,9
V+ПТФЭ	13	2,24	6,2	13,1	3,3	13,9	29,3	7,4
Mg+ПТФЭ	33	2,04	9,7	15,0	3,0	19,8	30,6	6,2
Ti+ПТФЭ	32	2,67	5,7	11,0	2,2	15,1	29,3	5,7
Hf+ПТФЭ	64	4,78	4,0	6,9	1,2	19,2	32,8	5,9
W+ПТФЭ	55	4,35	1,5	5,1	0,5	6,6	22,0	2,1
Интерметаллидные составы								
Ti+2B	100	3,5	4,8	31,7	—	16,8	111	—
Al+Ni	100	5,2	1,7	12,6	—	8,6	65	—
Термиты								
Al+Fe ₂ O ₃	25	4,1	4,0	7,7	—	16,4	31	—
Al+MoO ₃	27	3,9	4,7	8,4	—	18,4	32	—
Al+CuO	19	5,1	4,1	5,9	1,1	20,9	24	5,7
Al+PbO ₂	13	7,2	3,1	3,8	1,1	22,1	27	7,9
Пиротехнические составы и ВВ								
Al-ПХК	34	2,6	10,6	10,6	3,2	27,4	27,4	8,3
ТНТ	—	1,64	4,2	14,5	3,6	6,9	23,8	5,8
Октоген/Al	20	2,04	7,6	13,3	6,1	14,5	27,2	12,4

ВВ. Повышение плотности РМ заменой алюминия на более тяжелые металлы (Ti, Hf, W), снижая калорийность на единицу массы, лишь незначительно уменьшает калорийность на единицу объема. Высокая теплота сгорания в воздухе интерметаллидов, особенно боридов, говорит о перспективности их применительно к термобарическому и зажигательному действиям. Обычно работа расширения, коррелирующая с фугасным действием, у РМ ниже, чем у штатных ВВ. Однако это не всегда так, например, для композиций высокодисперсных активных металлов с фторполимерами, которые занимают промежуточное положение между такими ВВ, как тротил (ТНТ) и смесь октоген/Al-80/20 (см. табл. 1).

Особый интерес для использования в БП представляют МФС, содержащие высокодисперсные порошки металлов сразу двух типов: с высокой плотностью, например W, и с высокой реакционной способностью — Al [12–15].

Постановка эксперимента. В настоящей работе с целью оценить потенциальный вклад таких МФС (табл. 2) в общее энерговыделение при взрыве зарядов конденсированных ВВ, а также их непосредственное влияние на характеристики фугасного действия в ближней зоне взрыва были проведены сравнительные эксперименты с комбинированными зарядами, состоящими из ТНТ и блоков из МФС.

Таблица 2

Состав и характеристики испытываемых МФС

Шифр состава	Компонентный состав МФС, % по массе			Плотность, г/см ³	Энергосодержание ($Q_{расч}$)	
	W	Al	ПТФЭ		МФС, кДж/г	Комбинированный заряд, кДж
МФС-1	87,5	2,5	10,0	8,04	0,94	≈515
МФС-2	36,0	14,5	49,5	2,81	5,2	≈570

Объектом испытаний являлись цилиндрические заряды (рис. 1, $d = 40$ мм, $h = 60$ мм) из тротиловых шашек с блоками металлофторопластовой смеси (а) и без блоков МФС (б). Фактическое отличие зарядов заключалось в том, что ~10% объема заряда ТНТ заменялось на МФС. Подрыв заряда происходил при срабатывании электродетонатора, который инициировал шашку дополнительного детонатора (ДД) из ТНТ или более мощного ВВ — флегматизированного гексогена (состав К-91).

В ходе испытаний проводилось:

— градуировка измерительных трактов с пьезоэлектрическими датчиками давления;

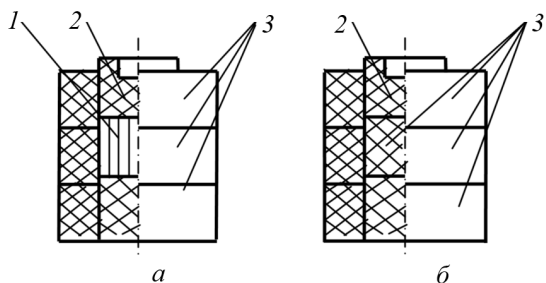


Рис. 1. Схемы зарядов:

1 — блок МФС; 2 — шашка из ТНТ или К-91; 3 — тротилловые шашки

— измерения параметров воздушной ударной волны (УВ) (максимальное избыточное давление, импульс положительной фазы, скорость распространения фронта (дискретно)) на расстояниях 0,6... 2,1 м от центра взрыва;

— оптическая регистрация зоны свечения от взрыва объекта испытаний для определения ее конфигурации и размера в разные моменты времени;

— оценка суммарного воздействия воздушной УВ и продуктов взрыва на перемещение металлических пластин ($100 \times 100 \times 20$ мм), которые устанавливали на разных лучах, на расстояниях 0,6; 0,9; 1,2; 1,5 и 2,4 м от точки подрыва.

Испытания проводились в бронекуполе испытательного комплекса ОАО «ГосНИИмашиностроения». При определении параметров воздушной УВ использовалась методика однолучевого импульсомерного поля и одновременно оптическая регистрация процесса разлета облака ПВ двумя электронно-оптическими камерами:

а) в режиме двух экспозиций на временах разлета, 50 и 250 мкс;

б) в покадровом режиме съемки на временах, начиная с 250 мкс.

Схема экспериментов приведена на рис. 2.

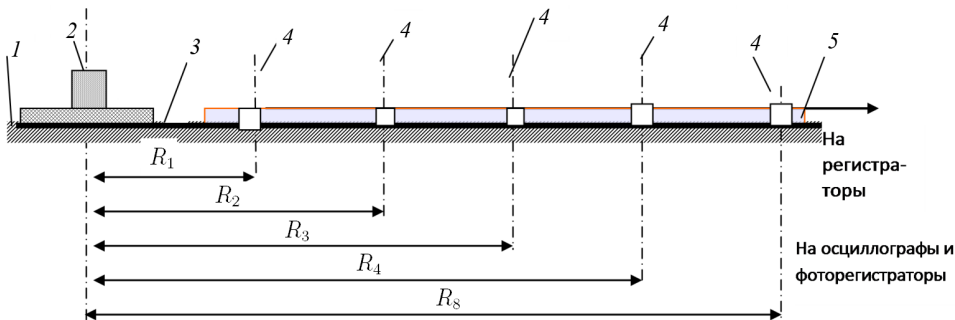


Рис. 2. Схема проведения испытаний с датчиками давления:

1 — пол бронекупола; 2 — заряд на деревянной подставке; 3 — стальная плита; 4 — ПДД; 5 — резиновая подложка

Испытания проводились в нормальных климатических условиях (НКУ) при температуре окружающего воздуха $12 \dots 13^\circ\text{C}$ и атмосферном давлении 757 ± 2 мм рт. ст.

Заряды 2 размещали на стальной плите 3, расположенной на полу бронекупола 1 на деревянной подставке. Центр масс зарядов располагался над полом на высоте 8 ± 1 см. На плиту заряды устанавливали вертикально, гнездом для инициатора вверх. Для измерения параметров воздушной УВ применяли пьезоэлектрические датчики давления (ПДД) 4 типа ЛХ-610, которые подключали через согласующие усилители. В каждом опыте одновременно регистрировались сигналы от восьми ПДД, которые устанавливали на полу бронекупола на одном луче от точки подрыва на расстояниях R_i : 0,6, 0,9, 1,1, 1,2, 1,5, 1,59, 1,8 и 2,1 м. Рабочие поверхности датчиков и нижние торцы зарядов располагались в одной плоскости, совпадающей с поверхностью резиновой подложки 5, в которой монтировались датчики.

Регистрация электрических сигналов с ПДД проводилась на цифровых четырехканальных осциллографах Tektronix с частотой дискретизации 1 МГц. При этом работу аппаратуры с моментом подрыва (начало записи сигналов) синхронизировали расположенным на боковой поверхности заряда электроконтактным датчиком запуска.

Градуировку измерительного комплекса проводили путем подрыва полусферических зарядов из ТНТ массой 0,162 кг.

Давление вычисляли по формуле

$$p(t) = U(t)/K, \quad (1)$$

где t — время; U — регистрируемое цифровым осциллографом напряжение; K — коэффициент преобразования, который определяли с помощью градуировочных опытов.

В соответствии с ГОСТ максимальное избыточное давление воздушной УВ от заряда ТНТ в зависимости от расстояния определяется как

$$p_m = (AX + BX^2 + CX^3) \cdot 10^4; \quad (2)$$
$$X = \frac{Q^{1/3}}{R},$$

где A, B, C — коэффициенты в соответствии с ГОСТ; Q — масса заряда; R — расстояние от заряда до датчика.

Коэффициент преобразования вычисляли по формуле

$$K = \frac{U_{\max}}{p_m}, \quad (3)$$

где U_{\max} — максимальное напряжение, зафиксированное датчиком при их градуировке; p_m — давление, полученное по формуле (2).

Импульс положительной фазы давления определяли по формуле

$$J_+ = \int_0^{t_+} P(t) dt, \quad (4)$$

где t_+ — длительность положительной фазы давления (момент пересечения кривой давления с нулевым уровнем).

После установки системы датчиков в бронекуполе проводили градуировочные опыты, по которым, в соответствии с формулой (3), определяли коэффициенты преобразования для каждого измерительного тракта. При этом все элементы измерительных трактов в каждой серии опытов были одинаковыми как при градуировке, так и при испытании зарядов.

Обработку сигналов с датчиков проводили методом усреднения по группе точек. Среднее значение определялось из условий

$$\bar{Y}_i = \begin{cases} \frac{1}{i+1} \sum_{j=0}^i Y_j, & i < n; \\ \frac{1}{n} \sum_{j=i-n+1}^i Y_j, & i \geq n, \end{cases} \quad (5)$$

где Y_i — текущее значение напряжения.

Число точек n , которые участвовали в усреднении текущего значения, соответствовало периоду собственных колебаний кристалла датчика и выбиралось по сглаженности получаемой кривой (минимум высокочастотной пульсации). К каждому датчику была применена единая процедура математической обработки с числом точек для усреднения $n \approx 40$.

Результаты эксперимента. На рис. 3 приведены отображения сигналов, подвергнутых обработке с учетом коэффициентов преобразования для каждого тракта измерения.

Определенные избыточное максимальное давление и импульс положительной фазы давления для фиксированных расстояний от точки подрыва, а также диаметры зоны свечения на моменты времени 50 и 250 мкс приведены на рис. 4 и 5.

По результатам оптической регистрации была определена зависимость радиус–время $R(t)$ расширения облака ПВ для каждого заряда. За радиус принималось его максимальное значение в данный момент времени. Полученные в результате обмера фоторегистрограмм зависимости радиус–время совместно с зависимостями распространения фронта УВ, полученными в тех же экспериментах с помощью ПДД, представлены в виде графиков на рис. 6.

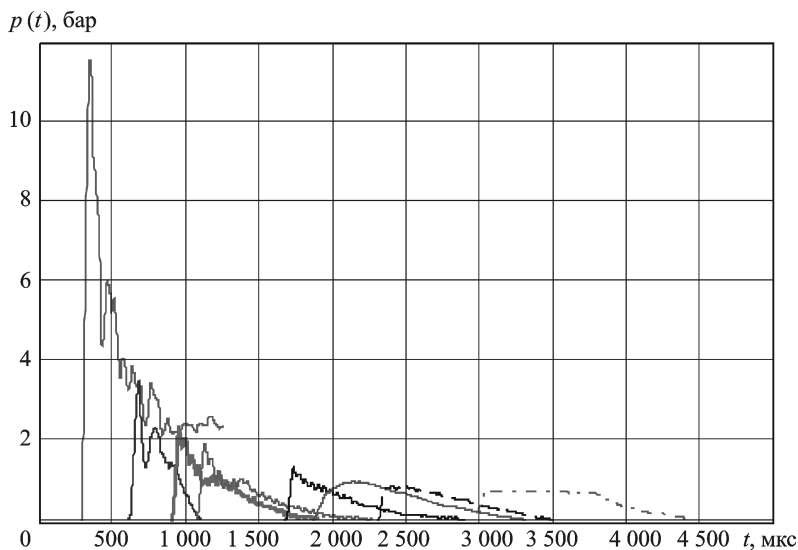


Рис. 3. Отображения сигналов с датчиков давления, расположенных на различных расстояниях от испытуемого заряда ($R = 0,6 \dots 2,1$ м)

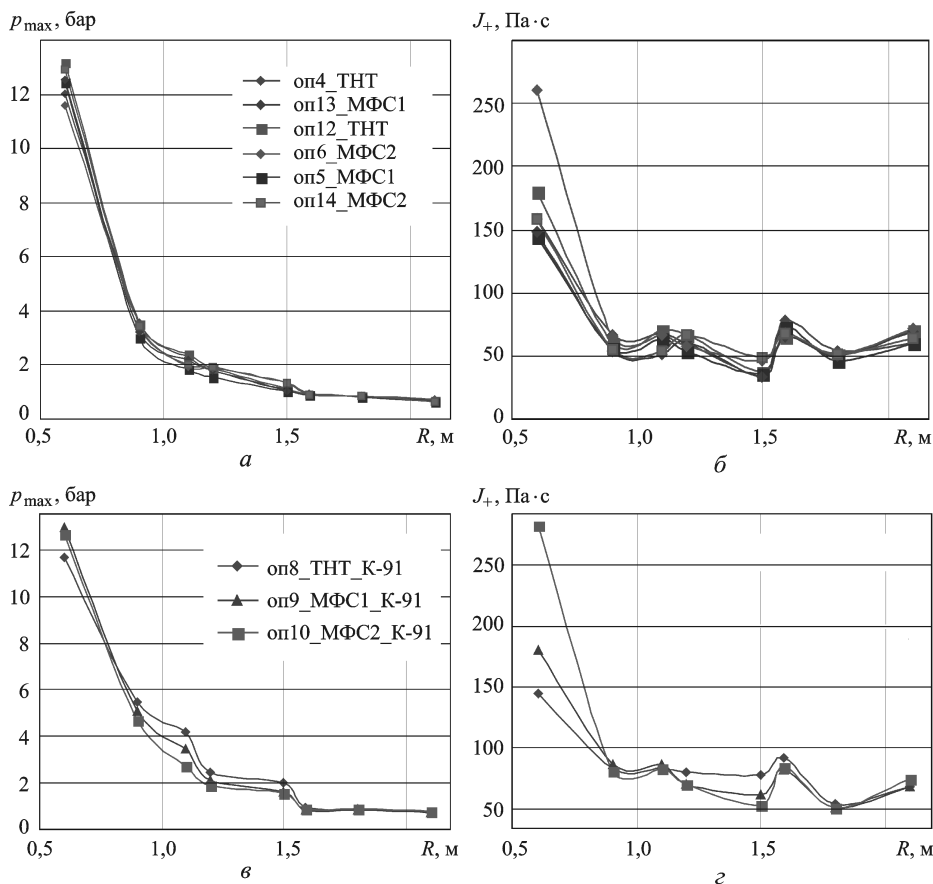


Рис. 4. Зависимость максимального избыточного давления ($a, в$) и импульса воздушной УВ ($б, г$) от расстояния при инициировании ДД из ТНТ ($a, б$) и К-91 ($в, г$)

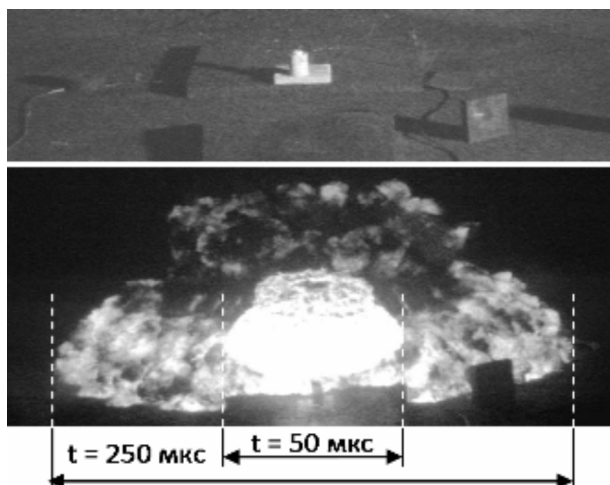


Рис. 5. Фоторегистрограмма разлета ПВ заряда ТНТ с блоком из МФС-2

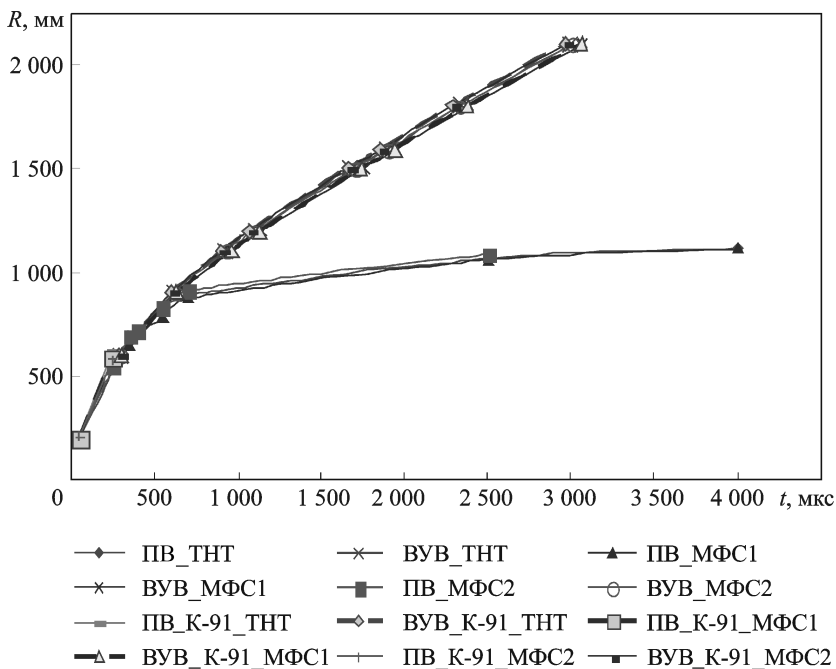


Рис. 6. $R-t$ -диаграмма распространения фронта воздушной УВ и продуктов взрыва для всех испытанных зарядов, построенная на основе оптической регистрации и измерений с помощью ПДД

Для оценки суммарного действия воздушной УВ и ПВ использовались стальные пластины $\approx 100 \times 100 \times 20$ мм и массой 1,6 кг. Пластины устанавливались на полу броннекупола перпендикулярно к радиусу заряда на расстоянии от 0,6...2,4 м от оси экспериментальной сборки. После подрыва измерялось расстояние (отклонение), на которое от-

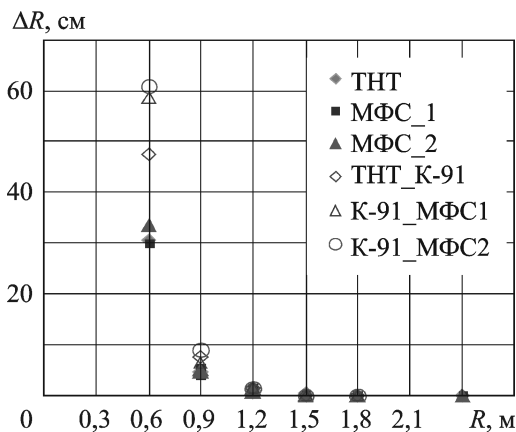


Рис. 7. График зависимости перемещения стальных пластин от расстояния для экспериментальных сборок с разными зарядами

летели пластины от своего начального положения. Результаты в виде графиков зависимости перемещения металлической пластины от расстояния до точки подрыва приведены на рис. 7.

Обсуждение результатов. Анализ усредненных данных по избыточному давлению и времени прихода УВ показал отсутствие значимых различий между зарядом ТНТ и комбинированным зарядом с МФС-1 в пределах погрешности измерений (расчетное энергосодержание зарядов $Q_{\text{расч}} \approx 510$ и 515 кДж, соответственно). В случае замены части ТНТ на МФС-2 ($Q_{\text{расч}} \approx 570$ кДж), более близкий по компонентному составу к стехиометрии и более энергоемкий, чем МФС-1, повышение параметров воздушной УВ составило $\sim 2 \dots 4\%$ (по средним значениям импульса и избыточного давления УВ) и $\sim 30\%$ (локально — по импульсу на расстоянии $0,6$ м от точки инициирования: 146 и 209 Па·с соответственно). С увеличением дистанции от точки подрыва различия в параметрах УВ для различных зарядов уменьшаются и с дистанции $1,2$ м они практически выравниваются (см. рис. 4, а, б).

В отличие от импульса, в ближней зоне наблюдается иная картина по воздействию воздушной УВ и продуктов взрыва на стальные пластины. В частности, на дистанции $0,6$ м по значению отскока стальных пластин заряд с МФС-1 не уступает заряду из ТНТ (уменьшение менее 1%) а заряд с МФС-2 превосходит его почти на 10% (см. рис. 7).

Скорость расширения ПВ, полученная методом оптической регистрации (см. рис. 7), для всех зарядов практически не отличается. Незначительное увеличение скорости (на $\approx 3\%$) наблюдается у зарядов с МФС-2.

Эксперименты показали, что замена внутреннего объема ВВ ($\sim 10\%$ по массе) на невзрывчатый материал МФС, способный к интенсивному энерговыделению при УВ сжатия, приводит к повышению энергии воздушной УВ в ближней зоне. Наиболее значимое (до

30 %) превышение комбинированных зарядов над зарядами из ТНТ имеется по импульсу УВ на расстоянии 0,6 м от точки инициирования. С увеличением дистанции от точки подрыва различия в параметрах воздушной УВ уменьшаются, и с дистанций 1,2 м они практически выравниваются.

Аналогичная картина наблюдается при совместном импульсном воздействии воздушной УВ и продуктов взрыва на стальные пластины (см. рис. 7). В частности, по значению отскока стальных пластин комбинированный заряд с РСМ типа металл — ПТФЭ, близкий к стехиометрии, на дистанции 0,6 м превосходит на 10 % заряд из ТНТ.

Как показала специальная серия опытов, эффект от замены части ТНТ на МФС в ближней зоне взрыва существенно зависит от параметров инициирующего импульса. При замене ДД из ТНТ на аналогичный из флегматизированного гексогена преимущество по силе воздействия на стальные пластины для комбинированного заряда с МФС-1 над зарядом из ТНТ возросло до 23 %, а для заряда с МФС-2 — до 28 % (см. рис. 7).

Дополнительные опыты с комбинированными зарядами, снаряженными вместо МФС-2 инертным веществом примерно той же плотности (Cr_2O_3 , $\rho_{\text{ср}} = 2,49 \text{ г/см}^3$) показали снижение всех измеряемых параметров взрыва: амплитуды воздушной УВ — на 20... 22 %, импульса положительной фазы УВ — на 2... 30 %, значения отскока пластины — на 30... 40 %.

Выводы. 1. Замена 10 % объема заряда ТНТ на блок из РСМ на основе композиции металл–ПТФЭ не ухудшает параметры его фугасного действия в пределах погрешности измерений. Несмотря на то, что объемная калорийность МФС весьма велика, их фугасность сравнима с ТНТ. Это означает, что значительная часть энерговыделения при взрыве зарядов с МФС “идет в тепло” (см. рис. 6), что должно положительно сказаться на их зажигательном действии (образование вторичных очагов возгорания).

2. Результаты испытаний по воздействию на стальные пластины показали, что в ближней зоне (до 1 м) комбинированные заряды с РСМ оказывают большее воздействие, чем заряды из чистого ТНТ. При этом заряды с МФС-2 мощнее, чем заряды с МФС-1. Это подтверждает и замер импульса на первом ПДД.

3. Энерговыделение РСМ при взрывном нагружении существенно зависит от значений параметров инициирующего импульса. При замене ДД из ТНТ на ДД из флегматизированного гексогена преимущество над зарядом из ТНТ по силе воздействия на стальные пластины для комбинированного заряда с МФС-1 возросло до 23 %, а с МФС-2 — до 28 %.

4. Скорость расширения ПВ, полученная методом оптической регистрации, для всех зарядов практически не различается. Незначительное увеличение скорости (на $\approx 3\%$) наблюдается у зарядов с МФС-2.

5. Полученные результаты показывают возможность использования комбинированных зарядов ВВ-МФС в качестве снаряжения высокоточных БП так называемого фокусированного летального действия, аналогичного БП с зарядами типа DIME [14, 15].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Advanced energetic materials*. Committee on Advanced Energetic Materials and Manufacturing Technologies. National Research Council, 2004.
2. *Ernst-Christian Koch, and Karl P. Rudolf*. Detonative ignition of metal/fluorocarbon pyrolants // 8-th seminar "New Trends in Research of Energetic Materials", Pardubice, 2005. P. 401.
3. *Richard G. Ames* A Standardized Evaluation Technique for Reactive Warhead Fragments // 23-rd International Symposium on Ballistics, Tarragona, Spain, 16–20 april, 2007.
4. *Фторопласти* / под ред. Л.А. Уолла; пер. с англ. под ред. И.Л. Кнунянца, В.А. Пономаренко. М.: Мир, 1975. 488 с.
5. *Панин Ю.А., Малевич С.Г., Дунаевская Ц.С.* Фторопласти. Л.: Химия, 1978.
6. *Товстоног В.А.* Экспериментальное исследование термических превращений политетрафторэтилена // АН СССР. Теплофизика высоких температур. 1991. Т. 29, № 2. С. 268–274.
7. *Петров Г.А., Петров А.Г.* Скорость распространения волны гомогенно-гетерогенных реакций в открытой гетерогенной химической системе. М.: Химия, 2001. 192 с.
8. *Селиванов В.В., Стыров А.В.* Экспериментальные исследования процесса взаимодействия фторопласта с алюминиевыми сплавами в условиях ударного нагружения // Химическая физика. 1999. Т. 18, № 11. С. 72–78.
9. *Имховик Н.А., Селиванов В.В.* Исследование процесса физико-химической деструкции фторсодержащих полимеров и композиций фторполимер-металл при интенсивных динамических и термических воздействиях // Сб. докл. науч. конф. "Современные методы проектирования и отработки ракетно-артиллерийского вооружения". Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2000. С. 463–469.
10. *Селиванов В.В., Имховик Н.А., Лашков В.Н., Селезнев А.А.* Исследование процесса физико-химической деструкции ПТФЭ и композиций ПТФЭ-металл при термических и ударно-волновых воздействиях // Химическая физика. 2001. Т. 20, № 8. С. 80–85.
11. *Имховик Н.А., Селиванов В.В., Стыров А.В., Клименко А.В.* Эффекты физико-химической деструкции фторсодержащих полимеров (ФСП) и композиций ФСП-металл в условиях ударно-волнового нагружения и высокоскоростного ударного деформационного взаимодействия с преградами из различных конструкционных материалов // Тез. докл. Междунар. конф. "XIII Харитоновские тематические научные чтения. Экстремальные состояния вещества. Детонация. Ударные волны". Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2011. С. 263–264.
12. *Имховик Н.А., Свидинский А.В.* Об исследованиях по разработке новых высокоплотных реакционных материалов и их применению в боеприпасах различного назначения // Сб. материалов XXII Всерос. науч.-техн. конф. "Передача, прием, обработка и отображение информации о быстропротекающих процессах". Сочи, 2011. С. 225–234.

13. Яшин В.Б., Имховик Н.А., Малкин А.И. Исследование возможности применения механоактивированных металл-фторопластовых композитов в конструкциях средств защиты // Вопросы оборонной техники. Сер. 16. Технические средства противодействия терроризму. 2012. Вып. 7–8. С. 49–53.
14. Имховик Н.А., Свидинский А.В., Яшин В.Б. Состояние, проблемы и перспективы исследований в области новых реакционноспособных композиционных материалов для использования в боеприпасах повышенного могущества действия // Вопросы оборонной техники. Сер. 14. // Проектирование систем вооружения, боеприпасов и измерительных комплексов. 2012. Вып. 2. С. 11–19.
15. Имховик Н.А., Селиванов В.В., Симонов А.К., Сергеева А.И., Яшин В.Б. Об исследованиях по разработке за рубежом новых высокоплотных энергетических материалов (*RM, HDRM, DIME*) для применения в боеприпасах повышенной эффективности // Сб. материалов VI Всерос. конф. “Энергетические конденсированные системы”. Черноголовка–Дзержинский, 2012. С. 47–53.

Статья поступила в редакцию 27.11.2012