

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ПРОДУКТОВ НА РАДИАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЗРЫВА ВВ В ВОЗДУХЕ

В. Б. Рождественский, Б. Д. Христофоров, В. Л. Юрьев
(Москва)

В настоящее время имеются достаточно полные данные о газодинамических параметрах взрыва ВВ в воздухе, однако его радиационные характеристики, особенно для зарядов не слишком большой массы, исследованы мало [1—8]. Из-за большой оптической прозрачности воздуха при низких температурах [6, 9] существенный вклад в изучение могут давать внутренние, более горячие слои воздуха в ударной волне (УВ) и сравнительно холодные, но непрозрачные продукты взрыва (ПВ) [1, 4]. Их перемешивание из-за неустойчивости Релея — Тейлора [10] может значительно изменить термодинамические, оптические и соответственно радиационные параметры взрыва, которые могут зависеть от состава ПВ.

Указанные процессы с трудом поддаются теоретическим расчетам и обычно не учитываются в расчетных моделях, что не позволяет получить надежные радиационные характеристики взрыва. В связи с этим проведены исследования излучаемой энергии при взрыве различных мощных ВВ в воздухе с близкими параметрами УВ, но различным содержанием углерода в ПВ.

Опыты проводили во взрывной камере объемом $\approx 100 \text{ м}^3$ с закопченными стенками. Использовали сферические пресованные заряды тэна плотностью $\rho = 1,6 \text{ г/см}^3$, массой $M = 2,5 \div 11 \text{ г}$, гексогена с $\rho = 1,7 \text{ г/см}^3$, $M = 11 \text{ г}$ и ТГ 50/50 с $\rho = 1,48 \text{ г/см}^3$ и $M = 11 \text{ г}$. В ряде опытов применяли заряды из смеси тэна с 8 и 17 % графита с $M \approx 11 \text{ г}$. Взрыв инициировали импульсом электрического тока в тонкой манганиновой проволоке, пропущенной через детонатор из азида свинца, расположенный в центре заряда.

ПВ чистого тэна полностью газообразны из-за положительного кислородного баланса ВВ и должны быть более прозрачны, чем ПВ гексогена и ТГ 50/50, которые содержат ~ 2 и 10 % углерода [8]. Графит вводился в заряды тэна для уменьшения оптической прозрачности его продуктов.

Светящуюся область взрыва фотографировали высокоскоростной камерой СФР-2М в варианте луны времени. При взрыве тэна проводили фоторегистрацию в параллельном пучке проходящего света шпирен-теньевым методом. Излучаемая взрывом энергия в функции времени измерялась пироэлектрическими приемниками за кварцевым окном с равномерной спектральной чувствительностью в полосе пропускания кварца [11]. Калибровка проводилась от эталонного источника света ЭВ-45 сравнением с показаниями измерителя энергии ИМО-2. Погрешность измерений энергии $\sim 10 \%$.

Характерная осциллограмма пироприемника показана на рис. 1. После прихода УВ к датчику наблюдаются вызванные ударом его собственные колебания, повышающие погрешность измерений, поэтому для повышения времени неискаженной регистрации расстояния от заряда до датчиков увеличивались в пределах, допустимых размерами взрывной камеры.

В таблице приведена измеренная энергия излучения ϵ , отнесенная к энергии взрыва ϵ_0 в различные моменты времени, вплоть до конца излучения. При взрыве тэна ϵ/ϵ_0 возрастает вместе с массой ВВ и содержанием графита в заряде. У гексогена и ТГ 50/50 ϵ/ϵ_0 выше, чем у чистого тэна, и повышается с увеличением концентрации углерода в ПВ, причем для ТГ оно больше 10 % и более чем на порядок превышает

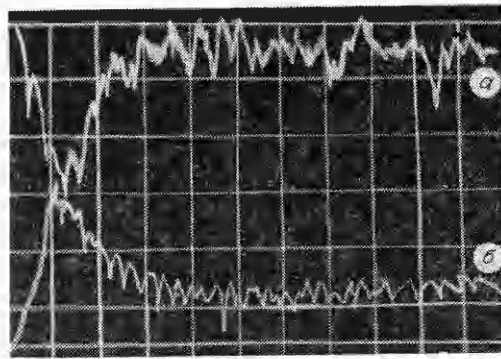


Рис. 1. Осциллограмма пьроэлектрического приемника на расстоянии 80 (а) и 300 см (б) от заряда тэна с $M = 11$ г.

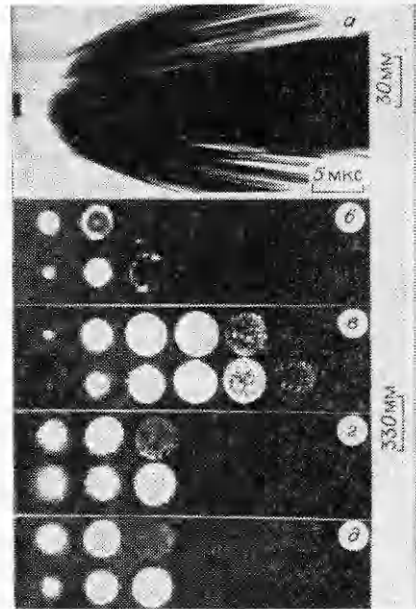


Рис. 2. Фотографии развития взрыва.

энергию, излучаемую при взрыве чистого тэна. При всех взрывах основная доля энергии излучается в ПЖ-области спектра.

На рис. 2 приведены фотографии развития взрывов тэна с $M \cong 2,8$ г (а), тэна (б), ТГ (в), гексогена (г) и тэна +17% графита (д) с $M = 11$ г. На рис. 2, а отчетливо видны границы непрозрачной области, занятой ПВ, а светящаяся область УВ неоднородна, причем свечение дольше происходит по краям кадра, где больше толщина сжатого в УВ газа. Поэтому на рис. 2, б в варианте лупы времени светящаяся область быстро принимает форму кольца, что указывает на то, что излучает полупрозрачный сферический слой. При взрыве ТГ свечение равномерно в области кадра, т. е. излучатель близок к черному телу. Взрыв гексогена занимает промежуточное положение между тэном и ТГ — свечение

Состав	M, г	t, мс	$\varepsilon/\varepsilon_0$	Состав	M, г	t, мс	$\varepsilon/\varepsilon_0$
ТЭН	2,5	0,1	0,008	83 % тэна + + 17 % гра- фита	11,8	0,1	—
		0,25	0,013			0,25	—
		0,5	0,020			0,5	—
		1,0	0,037			1,0	—
		2,5	0,083			2,5	0,30
		5,0	0,16			5,0	0,73
		10,0	0,28			10,0	1,50
	25,0	0,32	25,0	2,5			
	11	Гексоген	0,1	0,008	0,1	—	
			0,25	0,011	0,25	0,037	
			0,5	0,016	0,5	0,065	
			1,0	0,028	1,0	0,14	
			2,5	0,065	2,5	0,35	
			5,0	0,13	5,0	0,72	
10,0			0,27	10,0	1,25		
25,0	0,54	25,0	1,7				
92 % тэна + + 8 % гра- фита	11,8	0,1	0,028	ТГ 50/50	11	0,1	0,11
		0,25	0,045			0,25	0,20
		0,5	0,064			0,5	0,28
		1,0	0,10			1,0	0,52
		2,5	0,20			2,5	1,5
		5,0	0,45			5,0	3,3
		10	0,92			10,0	7,5
25,0	1,7	25,0	13,6				

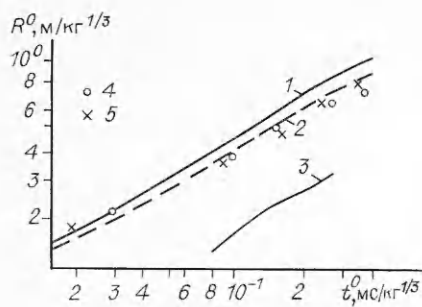


Рис. 3. Границы светящейся области при взрыве тэна ($M = 2,5$ (4) и 11 г (5) (см. рис. 2, б)).

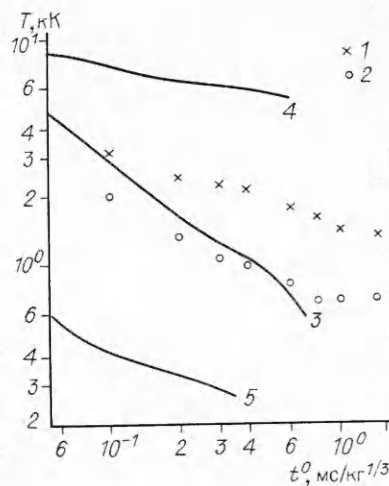


Рис. 4. Временные зависимости радиационных температур.

есть по всей области кадра, но максимально оно по краям. Свечение взрыва тэна с графитом близко к свечению гексогена. Приведенные фотографии свидетельствуют о влиянии состава ПВ на радиационные характеристики взрыва.

На рис. 3, 4, 5 в координатах $R^0 = R/M^{1/3}$, $t^0 = t/M^{1/3}$ показана зависимость границы светящейся области при взрыве тэна. Для сравнения приведены годографы фронта УВ (1) [12] и контактной границы с ПВ (2). Последний рассчитан по данным [12] методом [13]. Кривая 3 построена по результатам обработки фоторегистрограммы взрыва (см. рис. 2, а) для границы непрозрачной области ПВ. Из рисунка следует, что вначале излучает фронт УВ, а затем более горячий газ у контактной границы. Сравнение кривых 2, 3 указывает на ее значительное размывание, которое может быть вызвано неустойчивостью Релея — Тейлора, существенно превосходящее оценки по линейной теории [10].

Графическим дифференцированием кривых $\epsilon(t)$ определены излучаемые мощности, а по ним — радиационные температуры [6] излучающей сферы на рис. 3. Максимальный ее радиус полагался равным максимальному радиусу контактной границы $R_{\max}^0 = 1$ м/кг^{1/3} [1, 4]. На рис. 4, 1, 2 приведены определенные таким способом временные зависимости радиационных температур взрыва ТГ 50/50 и тэна ($M = 11$ г). На рис. 4, 3 показаны рассчитанные для тэна температуры фронта УВ по данным [12] по ударной адиабате воздуха [8], на рис. 4, 4 — воздуха у контактной границы по данным [8, 13] и кривой 5 — ПВ при их изоэнтропическом расширении из точки Жуге.

После просветления фронта УВ радиационная температура выше при взрыве ВВ с большей концентрацией углерода в ПВ. При этом для ТГ она выше, а для тэна ниже температуры фронта. Для всех ВВ температура излучающего газа выше температуры ПВ, по ниже расчетной температуры воздуха на контактной границе.

Зависимость радиационной температуры и излучаемой взрывом энергии от концентрации углерода в ПВ можно связать с их перемешиванием с горячим воздухом у контактной границы из-за неустойчивости Релея — Тейлора [10]. При этом температура излучающего газа уменьшается и примерно одинакова для всех исследованных ВВ, а радиационная температура и излучаемая энергия должны возрастать с повышением концентрации углерода в ПВ из-за увеличения степени черноты смеси газов у контактной границы в УВ.

Проведенные опыты показали, что эффекты, связанные с перемешиванием ПВ и воздуха в УВ, позволяют управлять радиационными характеристиками взрыва зарядов малой и средней массы изменением состава ПВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Brode H. L. Phys. Fluids, 1959, 2, 2, 217.
2. Baker W. E. Explosions in Air.— Austin; London, 1973.
3. Бейкер У., Кокс П., Уэстейн П. и др. Взрывные явления. Оценка и последствия/ Под ред. Б. Е. Гельфанда и Я. Б. Зельдовича.— М.: Мир, 1986.
4. Адушкин В. В. ПМТФ, 1963, 5, 107.
5. Кореньков В. В., Охитин В. Н. ПМТФ, 1983, 3, 127.
6. Зельдович Я. Б., Райзер Ю. П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений.— М.: Наука, 1966.
7. Цикулин М. А., Попов Е. Г. Излучательные свойства ударных волн в газах.— М.: Наука, 1977.
8. Баум А. Ф., Орленко Л. П., Станюкович К. П. и др. Физика взрыва/Под ред. К. П. Станюковича.— М.: Наука, 1975.
9. Авилова И. В., Биберман Л. М., Воробьев В. С. и др. Оптические свойства горячего воздуха.— М.: Наука, 1970.
10. Анисимов С. И., Зельдович Я. Б. Письма в ЖТФ, 1977, 3, 20, 1081.
11. Киселев Ю. П., Крохин В. З. ПМТФ, 1976, 4, 151.
12. Христофоров Б. Д. ПМТФ, 1964, 6, 175.
13. Адушкин В. В., Немчинов И. В. ПМТФ, 1963, 4, 58.

Поступила в редакцию 4/III 1988

УДК 621.7.044.2

УДАРНО-ВОЛНОВОЕ КОМПАКТИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИ АКТИВИРОВАННОГО ПОРОШКА СИСТЕМЫ Fe—Nd—В

*В. Ф. Нестеренко, Е. Г. Аввакумов, С. А. Першин,
З. А. Кормилицына, А. Н. Лазариди, М. Ю. Язвицкий
(Новосибирск)*

Прессование взрывом аморфных порошков металлических сплавов, полученных закалкой из расплава, использовалось в ряде работ, обзор которых приведен в [1]. Найдены критерии сохранения аморфной структуры, основанные на аналогии процессов охлаждения при получении исходного порошка и температурной релаксации в гетерогенно нагретом компакте [2].

В последнее время появились методы создания аморфных сплавов путем механического сплавления компонентов [3]. Этот класс материалов вследствие присущих ему специфических условий получения может существенно отличаться по физическим свойствам от быстрозакаленных сплавов. Так, их нельзя охарактеризовать таким параметром, как скорость закалки. Отметим, что быстрозакаленные аморфные сплавы испытывают значительные изменения своих свойств в результате размола [4], низкотемпературной обработки, пластической деформации [5] при сохранении параметров, выявляемых рентгеноструктурным анализом.

Большой интерес с точки зрения магнитных характеристик вызывают сплавы системы Fe—Nd—В, что связывается с появлением в процессе кристаллизации магнитно-твердой фазы $Fe_{14}Nd_2B$ с тетрагональной структурой и постоянными решетки: $a = 0,88$ нм, $c = 1,22$ нм, обладающей высокой магнитной анизотропией [6]. Оптимальное состояние сплавов, из которых в дальнейшем может получаться магнитный материал, достигается быстрой закалкой расплавов [7] или механическим сплавлением компонентов [3].

В настоящей работе исследуется возможность получения взрывным компактированием объемных образцов из механического сплава системы Fe—Nd—В. Структура компактов изучалась калориметрическим, рентгеноструктурным и металлографическим методами с использованием по-