

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОРМОЖЕНИЯ ПРОДУКТОВ ДЕТОНАЦИИ ВЗРЫВЧАТОГО ВЕЩЕСТВА НА ОСНОВЕ ТАТБ

Ю. А. Аминов, М. М. Горшков, В. Т. Заикин, Г. В. Коваленко,
Ю. Р. Никитенко, Г. Н. Рыкованов

РФЯЦ, ВНИИ технической физики, 456770 Снежинск, Yu.A.Aminov@vniitf.ru

Приведены результаты исследования торможения продуктов детонации взрывчатого вещества на основе ТАТБ с помощью модифицированного метода преград. Результаты экспериментов сравниваются с данными для близкого по составу взрывчатого вещества и с результатами расчета.

Для построения эмпирических уравнений состояния продуктов взрыва, помимо экспериментально определяемых характеристик взрывчатого вещества (начальная плотность, скорость стационарной детонации, параметры продуктов взрыва в точке Чепмена — Жуге), необходима информация по ударному сжатию и изоэнтропическому расширению продуктов. Классическим способом получения такой информации является метод «преград», основанный на регистрации скорости ударной волны D в инертных материалах при торможении на них детонационной волны. В этом случае давление p и массовая скорость u в контактирующих веществах одинаковы и могут быть определены по известной для вещества преграды зависимости $D(u)$. Выбирая различные материалы для преград, можно получить экспериментальную зависимость $p(u)$ для продуктов детонации исследуемого взрывчатого вещества (ВВ).

В описываемых экспериментах модифицированный метод преград использовался для исследования процессов ударного сжатия и изоэнтропического расширения продуктов взрыва пластифицированного состава на основе ТАТБ (ПСТ) с начальной плотностью $\rho_0 = 1,91 \text{ г/см}^3$. Для возбуждения детонации PST использовалось плосковолновое метатальное устройство, в котором пластина из алюминия диаметром 125 мм и толщиной 8 мм разгонялась до постоянной скорости w и ударяла по алюминиевой пластине-экрану толщиной 4 мм, за которой устанавливался образец PST. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.

Условия экспериментов были выбраны на

основе расчетов по одномерной программе ВОЛНА [1] с моделью кинетики разложения PST [2]. Газодинамический расчет системы «ударник — экран — образец PST — преграда» проводился для скорости ударника $w = 3,6 \text{ км/с}$, соответствующей реальному экспериментальному значению. При этом согласно [3] давление входящей в PST ударной волны составляет $\approx 28 \text{ ГПа}$, что по расчету приводит к достижению стационарной скорости детонации в PST на расстоянии, не большем 7 мм. По данным [4] время задержки детонации при таком давлении для аналогичного ВВ РВХ 9502 не превышает 0,1 мкс, что не противоречит расчету и позволяет использовать в эксперименте заряд длиной 15 мм. Учет химпика в PST приводит к появлению в преграде зоны повышенного давления, размер которой согласно расчету не превышает 5 мм. В режиме установившейся детонации давление в продуктах взрыва постоян-

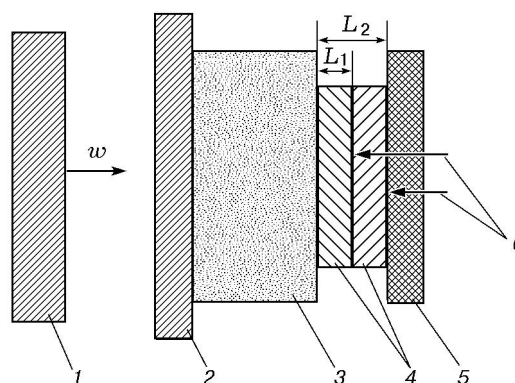


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:
1 — ударник (Al), 2 — экран (Al), 3 — заряд ВВ $\varnothing 120 \times 15 \text{ мм}$, 4 — диски из материала преграды, 5 — панель для крепления датчиков, 6 — электроконтактные датчики

Материал	Параметры преграды			Источник	Результаты эксперимента		
	ρ_0 , г/см ³	a , км/с	b		D , км/с	u , км/с	p , ГПа
Медь	8,92	3,91	1,51	[5]	$5,528 \pm 0,068$	$1,07 \pm 0,05$	$52,8 \pm 3,3$
Алюминий	2,73	5,231	1,467	[6]	$7,772 \pm 0,079$	$1,73 \pm 0,06$	$36,8 \pm 1,7$
Магний	1,74	4,540	1,238	[7]	$7,345 \pm 0,034$	$2,27 \pm 0,04$	$29,0 \pm 0,7$
ПММА	1,18	3,120	1,328	[8]	$6,785 \pm 0,135$	$2,76 \pm 0,11$	$22,1 \pm 1,4$
Вода	1,00	2,607	1,286	[9]	$6,460 \pm 0,067$	$3,00 \pm 0,09$	$19,3 \pm 0,7$
Полиэтилен	0,92	3,106	1,437	[8]	$7,296 \pm 0,028$	$2,92 \pm 0,07$	$19,6 \pm 0,6$
Этанол	0,80	2,309	1,369	[10]	$6,634 \pm 0,155$	$3,16 \pm 0,12$	$16,8 \pm 1,1$
<i>n</i> -гексан	0,65	1,551	1,539	[8]	$6,688 \pm 0,063$	$3,34 \pm 0,10$	$14,5 \pm 0,6$
Полистирол	0,77	1,370	1,366	[11]	$5,881 \pm 0,031$	$3,30 \pm 0,12$	$15,0 \pm 0,7$
	0,72	1,160	1,372		$5,895 \pm 0,066$	$3,45 \pm 0,11$	$14,6 \pm 0,6$
	0,51	0,645	1,345		$5,647 \pm 0,109$	$3,72 \pm 0,11$	$10,7 \pm 0,5$
	0,31	0,252	1,261	[8, 11]	$5,498 \pm 0,124$	$4,16 \pm 0,15$	$7,1 \pm 0,4$
	0,16	-1,054	1,458	[8]	$5,583 \pm 0,068$	$4,55 \pm 0,13$	$4,1 \pm 0,2$
Воздух	0,00115	0,340	1,045	[12]	$7,675 \pm 0,079$	$7,02 \pm 0,10$	$0,06 \pm 0,003$

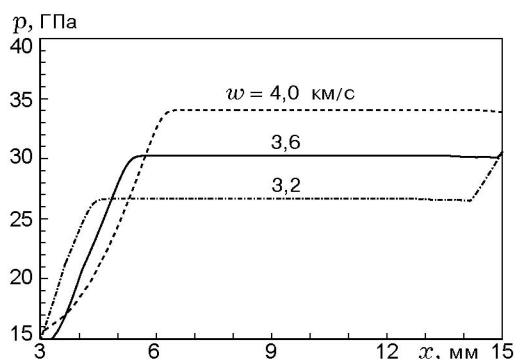


Рис. 2. Расчетные профили давления в момент выхода детонационной волны из ПСТ

но до прихода волны разгрузки с тыльной стороны ударника. На рис. 2 показаны расчетные профили давления в момент выхода детонационной волны из ПСТ, полученные для скорости ударника в диапазоне $w = 3,2 \div 4,0$ км/с в предположении идеальной детонации ПСТ с давлением на фронте $p = 30,6$ ГПа.

Продукты взрыва исследовались в диапазоне давлений $p = 0,1 \div 50$ ГПа, что определило выбор материалов преград. Предпочтение отдавалось материалам, ударные адиабаты которых определены с достаточной точностью. С помощью осциллографической элек-

троконтактной методики измерялась средняя скорость ударной волны в преграде на участке ее распространения $x = L_2 - L_1$ (см. рис. 1), где $L_1 = 5$ мм, $L_2 = 10$ мм. В каждой из плоскостей измерения располагались 8 датчиков на расстоянии $7 \div 21$ мм от оси симметрии, результаты измерений осреднялись. В опытах с неметаллическими материалами для улучшения условий замыкания датчики устанавливались на алюминиевую фольгу толщиной 10 мкм. В опытах с жидкостями датчики опускались в трубки с латунным дном толщиной 50 мкм.

Параметры использованных преград, а также измеренные значения скорости ударной волны в преградах (с погрешностью для доверительной вероятности 0,95) приведены в таблице. Для определения массовой скорости и давления использовались зависимость $D(u)$ материала преграды и закон сохранения импульса на ударном фронте:

$$D = a + bu, \quad p = \rho_0 Du.$$

Полученные для ПСТ данные представлены на рис. 3, где для сравнения показаны также экспериментальные точки для аналогичного состава T_2 ($\rho_0 = 1,855$ г/см³). Данные [13], соответствующие разгрузке продуктов детонации состава T_2 в аргон, характеризуются за-

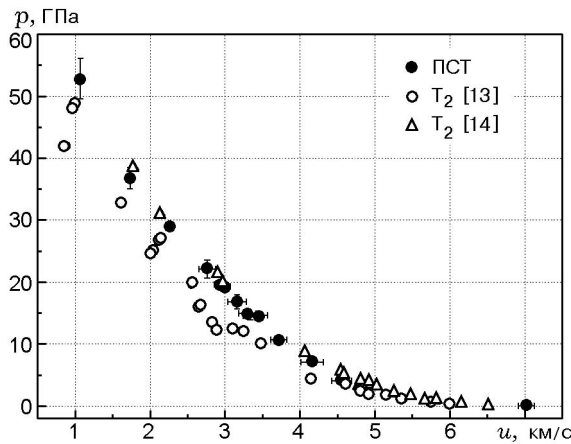


Рис. 3. Экспериментальные зависимости $p(u)$ для составов ПСТ и T_2

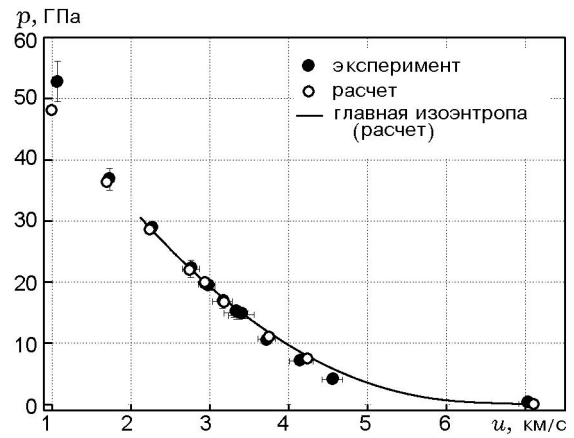


Рис. 4. Главная изоэнтропа и точки, рассчитанные по уравнению состояния [2], в сравнении с экспериментом

метно меньшими значениями давлений. В то же время результаты для ПСТ неплохо согласуются с данными, полученными методикой лазерной интерферометрии [14].

В классической постановке метода преград для достижения постоянного профиля давления в продуктах взрыва используется длинный (≈ 200 мм) заряд исследуемого ВВ, что делает подобные опыты довольно дорогими. Особенностью представленных экспериментов является реализация того же эффекта за счет удара толстой металлической пластиной по короткому (15 мм) заряду ВВ.

При известном для исследуемого ВВ давлении в точке Чепмена — Жуге (p_{CJ}) выбором скорости ударника можно добиться такого же давления в продуктах взрыва (см. рис. 2). При этом полученные экспериментальные точки будут принадлежать главной изоэнтропе разгрузки продуктов (или ударной адиабате вторичного сжатия для «жестких» преград). Если значение p_{CJ} выше давления, реализованного в продуктах взрыва, то экспериментальные точки сдвигаются вниз относительно главной изоэнтропы, если ниже — лежат на изоэнтропе разгрузки пересжатых продуктов.

Для аналогичных по составу (соотношение ТАТБ/инерт примерно 90/10) и близких по плотности ВВ на основе ТАТБ (ПСТ, T_2 , LX-17, РВХ 9502 и др.) разброс экспериментальных и теоретических значений p_{CJ} довольно велик: $p_{CJ} = 26 \div 31$ ГПа.

Для проверки чувствительности эксперимента к значению p_{CJ} были проведены расчеты

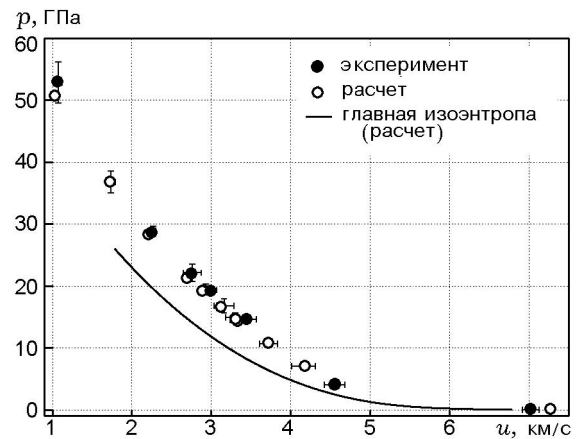


Рис. 5. Главная изоэнтропа и точки, рассчитанные по уравнению состояния [15], в сравнении с экспериментом

ты с реальной геометрией по методике ВОЛНА с уравнениями состояния продуктов взрыва из [2] ($p_{CJ} = 30,6$ ГПа) и [15] ($p_{CJ} = 26$ ГПа). В обоих случаях расчетные данные, приведенные на рис. 4, 5, согласуются с экспериментальными в пределах погрешности, поэтому при используемой схеме инициирования возможно и пересжатие продуктов взрыва. Такая неопределенность не позволяет утверждать, что рассматриваемая экспериментальная зависимость $p(u)$ является главной изоэнтропой продуктов взрыва ПСТ. В то же время полученные экспериментальные точки можно использовать для контроля уравнений состояния составов на основе ТАТБ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куропатенко В. Ф., Коваленко Г. В., Кузнецова В. И. и др. Комплекс программ ВОЛНА и неоднородный разностный метод для расчета неустановившихся движений сжимаемых сплошных сред // Вопросы атомной науки и техники. Математическое моделирование физических процессов. 1989. Вып. 2.
2. Аминов Ю. А., Вершинин А. В., Еськов Н. С. и др. Исследование ударно-волновой чувствительности пластифицированного ВВ на основе ТАТБ // Физика горения и взрыва. 1995. Т. 31, № 1.
3. Шорохов Е. В., Литвинов Б. В. Ударная сжимаемость взрывных композиций на основе ТАТБ в диапазоне давлений от 0,1 до 40 ГПа // Хим. физика. 1993. Т. 12, № 5.
4. Dick J. J., Forest C. A., Ramsey J. B., and Seitz W. L. The Hugoniot and shock sensitivity of a plastic-bonded TATB explosive PBX 9502 // J. Appl. Phys. 1998. V. 63, N 10.
5. Жугин Ю. Н., Крупников К. К., Овечкин Н. А. и др. О некоторых особенностях динамической сжимаемости кварца // Физика Земли. 1994. № 10.
6. Карманова Т. И., Лобойко Б. Г., Сапожников А. Т. и др. Градуировка манганиновых датчиков для ударно-волновых исследований // Хим. физика. 1998. Т. 17, № 5.
7. Альтшулер Л. В., Баканова А. А., Дудолов И. П. и др. Ударные адиабаты металлов, статистический анализ и общие закономерности // ПМТФ. 1981. № 2.
8. LASL Shock Hugoniot Data / S. P. Marsh (Ed.). Berkeley, California: Univ. of California Press, 1980.
9. Шарипджанов И. И., Альтшулер Л. В., Брусникин С. Е. Аномалии ударной и изэнтропической сжимаемости воды // Физика горения и взрыва. 1983. Т. 19, № 5.
10. Трунин Р. Ф., Жерноклетов М. В., Кузнецов Н. Ф. и др. Сжатие жидких органических веществ в ударных волнах // Хим. физика. 1992. Т. 11, № 3.
11. Дудолов И. П., Ракитин В. И., Сутулов Ю. Н., Телегин Г. С. Ударная сжимаемость полистирола с различной начальной плотностью // ПМТФ. 1969. № 4.
12. Кузнецов Н. М. Термодинамические функции и ударные адиабаты воздуха при высоких температурах. М.: Машиностроение, 1965.
13. Pinegre M., Aveille J., Leroy J. C., et al. Expansion isentropes of TATB composition released into argon // Eighth Symp. (Intern.) on Detonation. Albuquerque, New Mexico, 1985.
14. Chirat R., Baute J. An extensive application of WCA4 equation of state for explosives // Eighth Symp. (Intern.) on Detonation. Portland, Oregon, 1989.
15. Davis W. C. Equation of state for detonation products // Tenth Intern. Detonation Symp. Boston, Massachusetts, 1993.

Поступила в редакцию 12/II 2001 г.