

Определим коэффициент α из наблюдаемого в экспериментах факта приближенного равенства скоростей детонации Чепмена-Жуге и детонации гетерогенных систем предварительно не смешанных фаз, когда внутренняя поверхность трубы полностью покрыта топливом ($k=1$)

$$M_{st} \approx \sqrt{2(\gamma_3^2 - 1) \frac{\Phi}{1 + \Phi} \frac{\Delta H}{a_1^2}}$$

При этом скорости, рассчитанные для систем Н — декан (H — гексадекан) — кислород, когда k -я часть поверхности смочена топливом ($k = \frac{3}{4}; \frac{1}{2}; \frac{1}{4}$), в разумных пределах совпадают со скоростями, наблюдаемыми в экспериментах. Так, для системы Н — гексадекан — кислород, когда $k = \frac{3}{4}$ наблюдаемая скорость 1800 м/сек, расчетная 1891 м/сек.

Поступила в редакцию
10/V 1972

ЛИТЕРАТУРА

1. M. R. Loison Comptes Rendus, 1952, 234, 15.
2. В. Ф. Комов, К. Трошин. Докл. АН СССР, 1965, 162, 1.
3. В. Ф. Комов, Я. К. Трошин. Докл. АН СССР, 1967, 175, 1.
4. С. А. Лесняк, М. А. Назаров и др. Докл. АН СССР, 1968, 182, 5.
5. Регланд, Я. Николс. Ракетная техника и космонавтика, 1969, 75.
6. Г. П. Черепанов. ПМТФ, 1965 4.
7. M. Sichel, C. S. Ray and J. Nicholls. A simple theory for the propagation of film detonation Ann Arbor, Michigan, 1970.
8. Г. Майрлс. Сб. «Ударные трубы». М., ИЛ, 1962.

УДК 662.215.1

ДЕТОНАЦИЯ ВВ С БОРОМ И ЕГО ОРГАНИЧЕСКИМИ ПРОИЗВОДНЫМИ

Л. Н. Акимова, А. Я. Апин, Л. Н. Стесик
(Москва)

Стремление увеличить удельное энерговыделение в процессе взрывчатого превращения привело, как известно, к использованию высокоэнергетических металлов (алюминий, магний, бор) в качестве компонентов взрывчатых смесей. Добавление порошкообразного алюминия к таким мощным взрывчатым веществам, как гексоген и тэн, повышает теплоту взрыва [1]. В то же время скорость детонации смесей мощных ВВ с алюминием, которая является функцией удельной теплоты взрыва, не только не увеличивается, но, как правило, уменьшается [2, 3]. В работе [4] для зарядов малой плотности, когда продукты детонации описываются уравнением состояния идеального газа, было показано, что добавление алюминия заметно увеличивает скорость детонации только у ВВ с положительным кислородным балансом. В случае ВВ с отрицательным кислородным балансом дополнительное тепловыделение за счет окисления алюминия компенсируется отрицательным

Таблица 1

Расчетные параметры детонации

ВВ	Бор, %	D , м/сек	u , м/сек	ρ , атм	V , л/кг	T , °К
Тэн	—	2194	1024	222,8	53,3	3806
	3	2230	1034	235,5	52,0	3955
	6	2259	1051	250,3	50,3	4067
	9	2273	1056	261,4	48,7	4108
	12	2255	1050	266,6	47,0	4031
	15	2193	1014	259,4	46,7	3796
ТНМ	—	1708	775	131,6	54,7	2851
	6	1927	900	183,0	50,1	3808
	12	2051	958	221,4	46,9	4419
	18	2129	994	255,8	43,7	4848
	21	2140	998	267,9	42,2	4918
	24	2121	992	274,3	40,5	4833

влиянием образующегося конденсированного окисла, в результате чего скорость детонации увеличивается лишь незначительно.

Такого рода расчеты были проведены и для смесей тэна и тетранитрометана (ТНМ) с бором, результаты которых представлены в табл. 1. Начальное давление в расчетах принималось равным 1 ат, объем $V=100(1-a)$ л/кг, где a — весовая доля бора в смеси. В общем, результаты расчетов аналогичны опубликованным ранее [4]. В смеси с тэном бор увеличивает скорость детонации

примерно на 4%, и в смеси с тетранитрометаном максимальное увеличение скорости детонации составляет 25%.

Основными продуктами окисления бора являются: B_2O_3 (газ), HBO_2 , B_2O_2 , BO . Конденсированные продукты не образуются. Следовательно, в данном случае отсутствует отрицательное влияние на скорость детонации конденсированной фазы, но, с другой стороны, в детонационной волне не выделяется теплота конденсации окиси бора. Следует отметить, что максимальная скорость детонации смесей тэна с бором ниже, чем у смесей ТНМ с керосином (2402 м/сек).

Результаты расчетов нельзя непосредственно применять к детонации реальных смесей ВВ с бором. Определить влияние металлов на скорость детонации зарядов ВВ высокой плотности в настоящее время можно только экспериментальным путем. В работе [5] исследовалась детонация смесей, содержащих нитрат аммония, бор и тэн. Получено увеличение скорости детонации на 2000 м/сек. В работе [6] были определены теплоты взрыва смесей тэна с бором.

В наших экспериментах исследовалось влияние бора и его соединений на скорость детонации ВВ с различным кислородным балансом: тэна, нитроглицерина и тетранитрометана.

В смесях с тэном использовались бор (размер частиц 0,1 мк, активность 99,9%) и ортокарборан ($C_2B_{10}H_{12}$) [7, 8]. При исследовании смесевых систем очень важно обеспечить тщательное перемешивание компонентов. Для этого был применен тэн, полученный осаждением в воду из ацетионового раствора, частицы имели размеры ~ 5 мк. Приготовление смесей тэна с бором производили смешиванием в шаровой мельнице в среде инертной жидкости (бензина). Смеси тэна с карбораном готовили путем нанесения карборана из раствора в дихлорэтано с последующим выпариванием растворителя при непрерывном перемешивании.

В смесях с бором и карбораном содержание элементарного бора было одинаковым и составляло 4,5 или 11% (соответственно 6 или 14 карборана). В первом случае кислорода в системе было достаточно для образования B_2O_3 , CO и H_2O , во втором — B_2O_3 и CO .

Скорости детонации измеряли оптическим методом при помощи прибора СФР при относительной плотности зарядов 0,5 и 0,95 в зависимости от их диаметра. Для инициирования зарядов с диаметрами 30 и 40 мм использовались линзовые заряды из ТГ 50/50.

Результаты опытов представлены в табл. 2 и на рис. 1. Каждому

значению скорости детонации соответствуют три параллельных опыта. Средняя ошибка отдельного измерения скорости детонации составляет 50—100 м/сек.

Из табл. 2 видно, что для зарядов с высокой плотностью скорость детонации замедленно растет при увеличении диаметра. Это характерно для смесевых ВВ, при детонации которых протекает реакция взаимодействия продуктов разложения взрывчатого компонента с горючей добавкой. В зарядах с диаметрами от 10 до 30 мм чистый тэн с плотностью 0,83 г/см³ детонировал с одинаковой скоростью 4900 м/сек.

На рис. 1 сопоставлены результаты настоящей работы с данными по скорости детонации тэна [9]. Смеси, содержащие 4,5% бора, детонируют практически с теми же скоростями, что и чистый тэн. Увеличение содержания бора до 11% снижает скорость детонации на 3—5%.

При исследовании порошкообразных смесей всегда остается открытым вопрос: достаточно ли применяемое измельчение и перемешивание компонентов для их полного взаимодействия в детонационной волне. Только при перемешивании на молекулярном уровне можно быть уверенным, что условия для полного взаимодействия компонентов обеспечены. Поэтому в дальнейших опытах исследовалась детонация растворов бис(ацетоксиметил)карборана (табл. 3) в нитроглицерине. В растворе, содержащем 7,2% бис(ацетоксиметил)карборана, кислорода достаточно для полного окисления бора и водорода и образова-

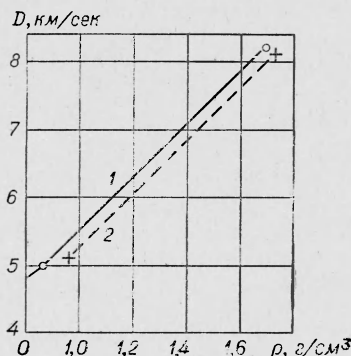


Рис. 1. Скорость детонации смесей тэна с 4,5% (1) и 11% (2) бора.

Таблица 2

Диаметр заряда, мм	Скорость детонации смесей тэна с бором и ортокарбораном, м/сек							
	Бор, %				Карборан, %			
	4,5		11		6		14	
	0,86*	1,69*	0,95*	1,73*	0,88*	1,61*	0,78*	1,54*
5	—	—	4400	—	—	—	—	—
10	5030	7900	4640	7700	5080	7850	4400	7690
15	5000	7900	—	—	5130	7840	4500	7750
20	5050	8050	4850	7900	5200	7900	4620	7900
30	5000	8200	—	8140	5220	7940	4640	2950
40	—	8200	5700	8150	—	—	—	7950

* Плотность в г/см³.

ния CO₂ и CO в соотношении 1 : 1. Расчетная теплота взрывчатого превращения (вода — пар B₂O₃ — газ) 1460 ккал/кг близка к теплоте взрыва чистого НГЦ. Для определения скорости детонации были использованы заряды в стеклянных оболочках с внутренними диаметрами 4,2; 6,8; 9,5 и 10 мм и длиной 100 мм. Инициирование производилось шашкой гексогена с плотностью 1,7 г/см³. В заряде с диаметром 4,2 мм детонация затухла. В остальных зарядах скорость детонации не зависела от диаметра и составляла 7660 м/сек, что совпадает со скоростью детонации чистого нитроглицерина. Скорость детонации состава, содержащего 13,4% бис(ацетоксиметил)карборана, измеренная в заряде с диаметром 10 мм, оказалась равной 7650 м/сек.

Таблица 3

Свойства компонентов и их смесей с ТНМ

Вещество	Формула	ρ , г/см ³	H 293°K, ккал/кг	Горю- чее, %	Теп- лота взры- ва, ккал/ кг
Тетранитрометан . . .	$C(NO_2)_4$	1,64	45	—	530
Пентаборан	B_5H_9	0,60	124	13,8	2700
Боразол	$B_3N_3H_6$	0,85	-94,5	24,7	2090
Изопропилкарборан Бис(ацетоксиметил) карборан	$C_8B_{10}H_{18}$ $C_8B_{10}H_{20}O_4$	— 1,05	-376 -844	14,3 19,3	2300 2100
Изопентан	C_5H_{12}	0,62	-575	12,1	1770
Бензол	C_6H_6	0,87	160	13,7	1780

Плотность бис(ацетоксиметил)карборана составляет 1,05 г/см³. Соответственно растворы его в нитроглицерине имеют плотности 1,54 г/см³ (7,2%) и 1,52 г/см³ (13,4%). При плотности нитроглицерина 1,60 г/см³ эти смеси имели бы скорости детонации 7870 и 7930 г/сек, если принять величину $dD/d\rho$ равной 3500 м·см³/г·сек [10].

Таблица 4

Скорости детонации смесей с тетранитрометаном

Горю- чее, %	Пентаборан		Изопентан		Боразол		Бензол	
	ρ	D	ρ	D	ρ	D	ρ	D
4,0	—	—	1,54	6750	1,58	6700	1,58	7000
8,0	1,44	6650	1,45	7000	1,53	6700	1,53	7200
12,5	1,35	6700	1,36	7250	1,47	6600	1,48	7300
20,0	—	—	1,24	6700	1,37	6500	1,39	7200
25,0	1,14	5900	1,16	6300	—	—	—	—
30,0	—	—	—	—	1,28	6300	1,30	7000

Примечание. ρ в г/см³, D в м/сек.

При исследовании детонации смесей на основе тетранитрометана (ТНМ) в качестве борсодержащих веществ использовались пентаборан и боразол, а также бис(ацетоксиметил)- и изопропилкарборан. Для сопоставления были определены скорости детонации смесей ТНМ с изопентаном и бензолом, которые имеют плотности, близкие к пентаборану и боразолу. Свойства всех этих веществ представлены в табл. 3, где указаны плотность, теплосодержание, количество горючего в стехиометрической смеси с ТНМ и расчетная теплота взрывчатого превращения ТНМ и его стехиометрических смесей с соответствующим горючим. Расчет теплоты взрыва производился в предположении образования воды в парообразном, а B_2O_3 в кристаллическом состоянии.

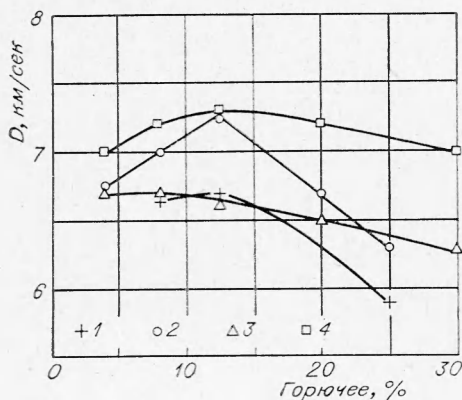


Рис. 2. Скорости детонации смесей тетранитрометана с пентабораном (1), изопентаном (2), боразолом (3) и с бензолом (4).

При смешении ТНМ с изопропилкарбораном (10 г смеси) однажды имело место самовоспламенение. Остальные горючие при смешении

нии не взаимодействуют с ТНМ видимым образом и не дают изменения объема.

Основные результаты экспериментов представлены в табл. 4 и на рис. 2.

Смесь, содержащая 20% бис(ацетоксиметил)карборана, в стеклянной трубке с внутренним диаметром 11 мм детонирует со скоростью 7000 м/сек. У смеси с 15% изопротилкарборана скорость детонации в стеклянной трубке с диаметром 7 мм равна 7130 м/сек.

На рис. 2 полученные результаты изображены графически. Скорость детонации чистого ТНМ 6400 м/сек [11]. Борсоединения увеличивают скорость детонации ТНМ, однако углеводороды дают более высокое увеличение.

Поступила в редакцию
24/V 1972

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Я. Апин, А. Ф. Беляев, Г. С. Соснова. Сб. «Физика взрыва», № 3, Изд. АН СССР, 1955.
2. M. A. Cook, A. S. Filler. a. o. J. Phys. Chem., 1957, 61, 2, 189.
3. А. Н. Дремин, П. Ф. Похил, М. И. Арифов. Докл. АН СССР, 1960, 131, 5, 1140—1142.
4. Л. Н. Стесик. ФГВ, 1971, 7, 1.
5. Г. С. Соснова. III всесоюз. симп. по горению и взрыву. Автореф. докл. Черно-голова, 1971.
6. В. И. Пепекин, М. Н. Махов, А. Я. Апин. ФГВ, 1972, 8, 1.
7. Г. Л. Гальченко, Л. Н. Мартыновская, В. И. Станко. Докл. АН СССР, 1969, 186, 5, 1328.
8. В. И. Пепекин, Ю. Н. Матюшин и др. Изв. АН СССР, 1971, 2.
9. M. A. Cook. The Science of high Explosives. N. Y., 1958.
10. Л. Н. Акимова, Л. Н. Стесик. Сб. «Физика взрыва», № 5, 1956.
11. J. F. Roth. Z. des S. und S., 1941, 36, 52.

УДК 662.215.1

ОСОБЕННОСТИ ВОЗБУЖДЕНИЯ ДЕТОНАЦИИ В ПРЕССОВАННОМ ТРОТИЛЕ УДАРОМ ПЛАСТИНЫ

М. М. Бойко, О. А. Кузнецов, В. С. Соловьев
(Москва)

Известно, что детонация, возбуждаемая ударной волной, выходит на стационарный режим, спустя некоторое время после входа инициирующей ударной волны (ИУВ) в исследуемый образец [1—11]. Установлено, что для однородных ВВ с нормальным тепловыделением за ударным фронтом детонация начинается на границе раздела, тогда как для гетерогенных ВВ переход ИУВ происходит постепенно, а ИУВ с самого начала является реакционной. Для изменения амплитуды инициирующей ударной волны большинство авторов использовали ослабитель, который разделял нагружающий (активный) и исследуемый (пассивный) заряды ВВ. При такой схеме нагружения профиль давления от времени близок к треугольному, а его длительность определяется линейными размерами нагружающей системы. Дифференцировать влияние параметров нагружения (амплитуда, длительность) в таких усло-