

С увеличением степени заполнения свободного пространства в заряде инертным наполнителем меняются и критические скорости детонации систем. На рис. 2 изображены зависимости предельных D_n (кривая 1) и критических $D_{кр}$ (кривая 2) скоростей детонации для смесей гексогена с тальком. Видно, что при низких содержаниях талька (пористость смесей более 20%) скорости детонации лежат на постоянном уровне и разница между $D_{кр}$ и D_n составляет 900—1000 м/с. Постоянный уровень значений $D_{кр}$ (рис. 2, 2) совпадает с участком возрастания $d_{кр}$ детонации (см. рис. 1, б). Следует обратить внимание на точку, которая находится на верхнем конце кривой 2 (рис. 2) и соответствует 20%-ной пористости, где $D_{кр}$ смеси (гексоген/тальк 60/40) почти достигает уровня ее предельного значения. По-видимому, в этой точке происходит смена механизмов возбуждения детонации. При дальнейшем увеличении содержания инертной добавки критические диаметры детонации резко снижаются. Отметим, что факт возрастания $D_{кр}$, когда пористость ВВ с инертными добавками достигала $\sim 20\%$, наблюдался ранее [3] и объяснялся тем, что в определенных условиях к горению зерна с поверхности добавляется еще и реакция разложения в очагах (микропоры и другие неоднородности в заводских зернах ВВ). Можно сделать предположение, что в указанной точке давление в детонационной волне в критических условиях достигает того значения, когда оно может вызвать реакцию в очагах внутри зерна и соответственно смену характера возбуждения реакции — поджигание горячими газами уступает ведущее место действию давления и сжатия вещества в детонационной волне.

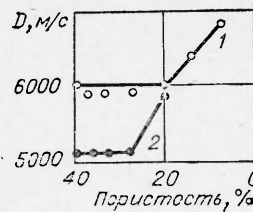


Рис. 2.

ИХФ АН СССР

Поступила в редакцию
11/II 1975

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Я. Апин. Докл. АН СССР, 1939, 24, 992; 1945, 50, 285.
2. А. Я. Апин, А. Н. Афанасенков, Г. В. Димза. — В сб.: Взрывное дело, № 75/32, М., «Недра», 1975.
3. Г. В. Димза. ФГВ, 1972, 8, 2.

УДК 662.3

ДЕТОНАЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ ПЕРХЛОРАТНЫХ ВВ

Л. Н. Акимова, Л. Н. Стесик

Большинство неорганических окислителей — слабые взрывчатые вещества (ВВ) с малым тепловыделением. К таким окислителям относятся, например, нитрат и перхлорат аммония (НА, ПХА). Энергия смесей этих окислителей с горючей добавкой (невзрывчатой) превышает энергию нитрата и перхлората аммония в 3—4 раза. Это означает, что почти вся энергия в этих смесях выделяется за счет взаимодействия продуктов разложения окислителя с горючим. Это обстоятельство делает подобные смеси удобным объектом исследования. Хотя реакции взаимодействия более существенны при больших диаметрах заряда, не вызывает сомнения тот факт, что эти реакции осуществляются и

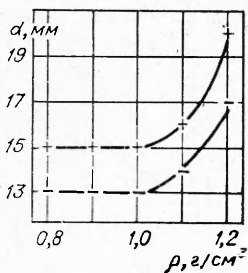


Рис. 1. Зависимость $d_{кр}$ от ρ (+ детонация проходит, — детонация затухает).

вблизи критического диаметра. Известно, что смеси взрывчатые вещества типа окислитель — горючее обладают рядом особенностей, которые начинают проявляться уже в критических условиях. Так, критический диаметр меньше, а критическая скорость детонации смеси больше, чем у чистого окислителя [1]. Имеются различия по сравнению с индивидуальными ВВ в зависимостях критических параметров детонации (критического диаметра $\alpha_{кр}$ и критической скорости детонации $D_{кр}$) от дисперсности компонентов смеси. Одна из особенностей подобных смесей — увеличение $d_{кр}$ с плотностью заряда. Этот факт хорошо известен, но не вполне выяснен. Причины этого явления не могут быть сведены лишь к замедлению диффузионных

процессов с увеличением давления [1].

В данной работе изучалось влияние дисперсности компонентов, состава смеси и природы горючего на протекание детонационного процесса в критических условиях. Опыты проведены на смесях ПХА с мочевиной, уротропином, углеродом и октогеном.

Для сравнения детонационной способности смесей и чистого ПХА на рис. 1 приведена зависимость $d_{кр}$ от плотности для тонкоизмельченного ($l \sim 5$ мкм) ПХА. Критический диаметр при $\rho = 0,8; 0,9; 1,0$ г/см³ оказывается постоянным и равным 14 мм. При дальнейшем увеличении плотности $d_{кр}$ начинает расти. Известно, что наиболее полно реакции взаимодействия продуктов разложения компонентов протекают в предельно измельченных смесевых ВВ. Аналогично влияние горючей добавки и в критических условиях. Это легко проследить на составе ПХА с мочевиной (табл. 1, рис. 2).

Критическая скорость детонации для крупной смеси близка к 2,0 км/с, для мелкой к 3,0 км/с. Из опытных данных видно, что крупнодисперсная мочевиная лишь незначительно снижает $d_{кр}$, тогда как мелкая оказывается более эффективной. Это заметно и по критической скорости детонации. Мелкодисперсная смесь в критических условиях детонирует со значительно большими скоростями, чем крупнодисперсная. На рис. 2 и табл. 2 приведены $d_{кр}$ в зависимости от состава для смесей ПХА с уротропином и углеродом, измельченных до микронных размеров. Как видно из опытных данных, добавление горючего даже в небольших количествах приводит к сильному снижению диаметра. Дальнейшее увеличение горючего вплоть до нулевого кислородного баланса почти или совсем не изменяет критический диаметр и лишь сильное разбавление влечет за собой его увеличение. Подобную зависимость наблюдали авторы работы [2]. Критический диаметр ПХА в смеси 10 и 20% воска при относительной плотности 0,5—0,7 оставался одинаковым.

Если рассматривать влияние различных горючих невзрывчатых добавок на критические параметры детонации, то при прочих равных условиях (размер частиц, плотность) негазифицирующаяся добавка оказывает наи-

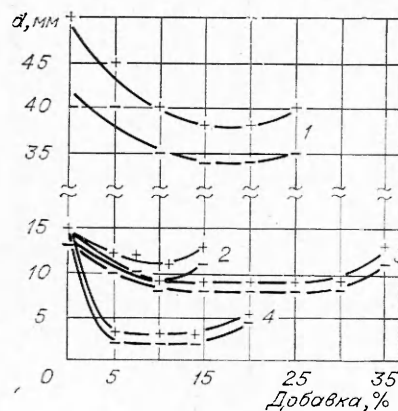


Рис. 2. Зависимость $d_{кр}$ от добавки в смеси ПХА с мочевиной, $l = 130$ мкм (1), с углеродом (2), с мочевиной, $l \sim 5$ мкм (3) и с уротропином (4).

Таблица 1

Процент мочевины	$l=130 \text{ мкм}, \rho=1,15 \text{ г/см}^3$				$l=1-10 \text{ мкм}, \rho=0,9 \text{ г/см}^3$			
	$d, \text{ мм}$		$D_{кр}, \text{ км/с}$	$d_{кр}/D_{кр}'$ мкс	$d, \text{ мм}$		$D_{кр}, \text{ км/с}$	$d_{кр}/D_{кр}'$ мкс
	+	-			+	-		
0	50	40	2,4	21	15	13	2,3	6,5
5	45	40	1,8	25	—	—	—	—
10	40	35	1,9	21	9	8	2,6	3,4
15	38	34	1,9	20	9	8	2,6	3,4
20	38	34	2,0	19	9	8	2,9	3,1
25	40	35	1,9	21	9	8	3,0	3,0
30	—	—	—	—	9	8	3,0	3,0
35	—	—	—	—	13	11	2,9	4,4

Таблица 2

Процент углерода	$\rho=0,90 \text{ г/см}^3$				Процент уротропина	$\rho=0,9 \text{ г/см}^3$			
	$d, \text{ мм}$		$D_{кр}, \text{ км/с}$	$d_{кр}/D_{кр}'$ мкс		$d, \text{ мм}$		$D_{кр}, \text{ км/с}$	$d_{кр}/D_{кр}'$ мкс
	+	-				+	-		
5,0	12	10	2,7	4,4	5,0	3	2	2,0	1,5
7,5	12	10	2,7	4,4	10,0	3	2	2,1	1,4
11,3	11	9	2,9	3,8	14,2	3	3	2,1	1,4
15,0	13	11	2,8	4,6	20,0	5,5	4,5	2,0	2,8

меньшее влияние (углерод), а добавка, дающая газообразные продукты, снижает $d_{кр}$ значительно сильнее (уротропин, мочевины).

Вполне естественно ожидать, что добавление к нитрату или перхлорату аммония в качестве горючего взрывчатого вещества приведет к еще более резкому влиянию, которое не может не отразиться на детонационных характеристиках смеси в критических условиях. Каким будет это влияние при различном соотношении окислителя и горючего, покажем на примере смеси ПХА и октогена. В работе проводились измерения $d_{кр}$ и $D_{кр}$ в зависимости от состава и плотности. ПХА имел размер частиц больше 100 мкм, октоген больше 50 мкм. Экспериментальные результаты сведены в табл. 3, рис. 3. Смеси ПХА с октогеном с размером частиц 1—10 мкм являются в сильной степени реакционноспособными. Так, смесь с 10 и 20% октогена при $\rho=1,14 \text{ г/см}^3$ устойчиво детонирует в зарядах диаметром 3 мм со скоростью 3,0 и 3,2 км/с. Из опытных данных видно, что добавление октогена к ПХА приводит к резкому снижению критического диаметра смеси. Так, 5% октогена сни-

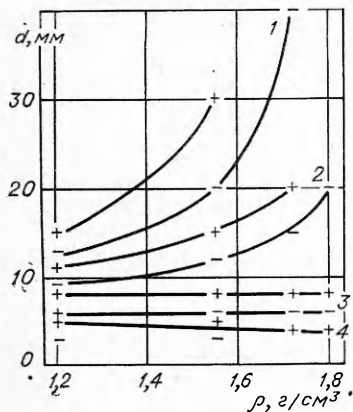


Рис. 3. Зависимость $d_{кр}$ от плотности для смеси ПХА с октогеном 95/5 (1), 90/10 (2), 85/15 (3), 75/25 (4).

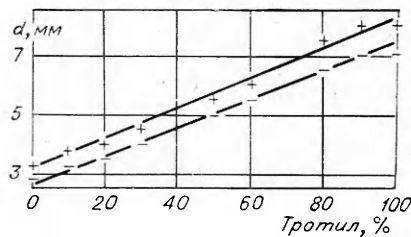


Рис. 4. Зависимость $d_{кр}$ смеси ТГ от состава.

Таблица 3

Содержание октогена в смеси	$\rho=1,2 \text{ г/см}^3$			$\rho=1,55 \text{ г/см}^3$			$\rho=1,7 \text{ г/см}^3$			$\rho=1,8 \text{ г/см}^3$		
	d , мм	$D_{кр}$, км/с	$d_{кр}/D_{кр}$, мкс	d , мм	$D_{кр}$, км/с	$d_{кр}/D_{кр}$, мкс	d , мм	$D_{кр}$, км/с	$d_{кр}/D_{кр}$, мкс	d , мм	$D_{кр}$, км/с	$d_{кр}/D_{кр}$, мкс
0	47	2,4	19,5	30	3	10	40	3,7	—	—	—	—
5	15	2,2	6,8	15	2,9	5,1	15	4,2	5,7	—	—	—
10	11	2,2	5	8	3,2	2,5	8	4,6	1,9	20	5,2	1,5
15	8	2,6	3	7	3,6	1,9	8	4,8	1,7	6	5,2	1,5
20	7	2,7	2,5	5	3,6	1,4	4	—	$\leq 0,8$	—	—	$\leq 0,7$
25	5	2,8	1,7	3	3,8	$\leq 0,8$	—	—	—	—	—	—
30	5	2,8	1,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30	3	2,8	1,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
40	3	3,2	$< 0,9$	—	—	—	—	—	—	—	—	—

жают критический диаметр ПХА в 4 раза при $\rho=1,2 \text{ г/см}^3$.

Если рассматривать зависимости $d_{кр}$ от плотности заряда, то окажется, что смеси с содержанием октогена до 15% ведут себя как перхлоратные смеси с невзрывчатым горючим, т. е. их критический диаметр растет с плотностью. В смесях с содержанием октогена в количестве 15 и 20% критический диаметр практически не меняется в зависимости от плотности. Большое содержание октогена приводит к тому, что зависимости критического диаметра от плотности становятся такими же, как и для индивидуальных мощных взрывчатых веществ, т. е. варьируя состав на одних и тех же компонентах, можно наблюдать, с одной стороны, зависимости критического диаметра от плотности, характерные для слабых индивидуальных веществ и их смесей с горючим, и с другой стороны, зависимости, свойственные мощным индивидуальным веществам.

Для каждого из изученных составов наблюдалось плавное изменение критического диаметра с увеличением плотности. Ни в одном случае критический диаметр не проходит через максимум [3]. В работе [1] было показано, что $d_{кр}$ смеси ПХА с 32% тротила хотя и слабо, но растет с увеличением плотности. Октоген, добавленный к ПХА в таком количестве, приводит к снижению $d_{кр}$. В табл. 3 приведены также критические скорости детонации и величины отношения $d_{кр}/D_{кр}$ — пропорциональная времени химической реакции. Характер изменения этой величины аналогичен изменению критического диаметра. Так, при содержании октогена в смеси в количестве 5 и 10% $d_{кр}/D_{кр}$ имеет тенденцию слабо увеличиваться с ростом плотности. Это значит, что время химической реакции либо не меняется, либо слабо растет. Дальнейшее увеличение содержания октогена приводит к снижению этой величины, что характерно для индивидуальных мощных ВВ. Таким образом, сам характер полученных кривых $d_{кр}=f(\rho)$ смесей ПХА с октогеном говорит о том, что ПХА активно участвует в реакциях взрывчатого превращения.

Действительно, если взять смесь вторичного взрывчатого вещества с инертной добавкой, например, гексоген с тальком, окажется, что ни в одном из изученных составов вплоть до содержания

инертной добавки в количестве 60% не наблюдалось роста в зависимости от плотности. Так, гексоген/тальк (40/60) имеет $d_{кр} > 50$ мм при $\rho = 1,44$ г/см³; при $\rho = 1,86$ г/см³ детонация распространяется в заряде диаметром 15 мм.

Наряду с перхлоратными смесями были изучены смеси ТГ (тротил-гексоген), компоненты которых имеют отрицательный кислородный баланс и, следовательно, продукты разложения компонентов практически не взаимодействуют между собой. Критический диаметр заряда определялся для смеси ТГ при общей плотности заряда $\rho = 1,0$ г/см³. Размер частиц компонентов составляет < 100 мкм. Из табл. 4 и рис. 4 видно, что зависимость критического диаметра детонации от состава смеси ТГ выражается прямой линией и может быть определена по правилу аддитивности. Налицо различное влияние компонентов. Кривые зависимости критического диаметра от состава смеси ПХА/октоген носят явно нелинейный характер, наблюдается более сильное снижение критического диаметра этих смесей, чем это вытекает из линейного закона. С другой стороны, замена ПХА в смесях с октогеном инертной добавкой той же плотности (КС1) и той же дисперсности приводит к увеличению критического диаметра.

Смесь с содержанием 70% КС1 детонирует устойчиво в заряде 12 мм, с содержанием 80% КС1 — в заряде диаметром 16 мм, т. е. инертная добавка по сравнению с ПХА увеличивает критический диаметр примерно в 2 раза. Эти опыты показывают, что даже в жестких условиях, а именно в смесях с мощными взрывчатыми веществами, и в критических условиях ПХА ведет себя активно.

ИХФ АН СССР

Поступила в редакцию
20/XII 1974

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Н. Акимова, Л. Н. Стесик, А. Я. Апин. ФГВ, 1967, 3, 3.
2. D. Price, A. R. Clairmont. Jr. and J. O. Erkman. Comb. and Flame, 1971, 17, 3, 323—336.
3. В. К. Боболев. Канд. дис., ИХФ АН СССР, 1947.

УДК 539.89+537.226

ИНДУЦИРОВАННАЯ УДАРНОЙ ВОЛНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ НИТРОГЛИЦЕРИНА

С. С. Набатов, В. В. Якушев, А. Н. Дремин

Согласно [1, 2], индуцированная ударной волной электрическая поляризация (ударная поляризация) низкомолекулярных диэлектриков обусловлена разворотом асимметричных дипольных молекул в поле сил фронта ударной волны (ФУВ). При выходе вещества из зоны действия ФУВ, временная продолжительность которой в жидкости составляет 10^{-11} — 10^{-13} с, наведенная поляризация разрушается тепловым движением молекул [3] и, если сжатое вещество становится электропроводным, путем компенсации связанных зарядов свободными носителями тока [4, 5]. Поскольку процесс релаксации не должен зависеть от спо-