

ВЛИЯНИЕ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЛЕЙ НА ДЕТОНАЦИЮ ВЗРЫВЧАТЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ НИТРАТА АММОНИЯ, СЕНСИБИЛИЗИРОВАННЫХ АЛЮМИНИЕВЫМ ПОРОШКОМ

А. Маранда

Техническая военная академия, Варшава, Польша

Представлены результаты исследований скорости и критического диаметра детонации сыпучих и водонаполненных взрывчатых веществ на основе нитрата аммония, сенсibiliзирoванных алюминиевым порошком и содержащих хлорид натрия и сульфат бария. Предложено объяснение полученных результатов.

Введение инертных добавок во взрывчатые вещества (ВВ) понижает их детонационные параметры. Кроме того, инертные добавки применяются в качестве охлаждающих веществ в предохранительных ВВ при проведении горных работ. В соответствии с работой [1] использование инертных добавок в зоне химической реакции детонационной волны может приводить к одной из трех ситуаций:

- давление и температура в продуктах взрыва и добавке не успевают выравняться;
- давление в продуктах взрыва и в добавке успевают выравняться, однако температурное равновесие в детонационной волне не достигается;
- достигается равновесие давления и температуры продуктов взрыва и добавки.

Допустим, что выравнивание давления характеризуется временем $t \sim d/D$, где d — размер зерна инертной добавки; D — скорость распространения ударной волны в добавке. В случае, когда t меньше времени химической реакции, происходит выравнивание давления. Выравнивание температуры в зоне химической реакции детонационной волны, связанное с прогревом зерен инертной добавки, зависит от размера зерен и коэффициента температуропроводности.

Для водонаполненных ВВ важную роль играет еще один фактор — локализация добавки в жидкой или твердой фазе, что зависит от растворимости добавки в воде. Именно это обстоятельство обусловило выбор хлорида натрия и сульфата бария для проведения исследований. Влияние хлорида натрия, хорошо

растворимого в воде (при температуре 25 °С образует 26,4 %-й раствор), на детонационные параметры ВВ изучали во многих работах. Полученные результаты (см., например, [2–6]) показывают, что увеличение содержания NaCl в смеси с чистым или аммиачно-селитряным ВВ снижает скорость детонации, работоспособность, дальность передачи детонации, частоту воспламенения метановоздушных смесей и увеличивает критический диаметр детонации. Причем влияние тем больше, чем мельче зёрна NaCl. Воздействие сульфата бария, практически не растворимого в воде, на детонационные параметры ВВ еще не исследовано. Исключением является работа [7], в которой утверждается, что добавка 1 ÷ 2 % BaSO₄ (по массе) приводит к увеличению чувствительности некоторых высокоэнергетических ВВ.

В настоящей работе представлены результаты исследования влияния добавок NaCl и BaSO₄ на критический диаметр и скорость детонации сыпучих и водонаполненных аммиачно-селитряных ВВ, сенсibiliзирoванных алюминиевым порошком. Предложена физико-химическая интерпретация полученных результатов.

Детонационные параметры измеряли в сыпучих смесях, содержащих нитрат аммония; 3, 6 и 10 % алюминиевого порошка (удельная поверхность $11 \cdot 10^3$ см²/г); NaCl и BaSO₄. Размеры зерен нитрата аммония и хлорида натрия примерно одинаковы (0,06 ÷ 0,3 мм). Сульфат бария имел несколько меньшую зернистость. При ситовом анализе вся проба проходила через сито с размером ячейки 0,2 мм, часть (64 %) оставалась на сите с размером ячейки 0,06 мм. Образцы сыпучих ВВ готовили путем перемешивания сухих компонентов до однородно-

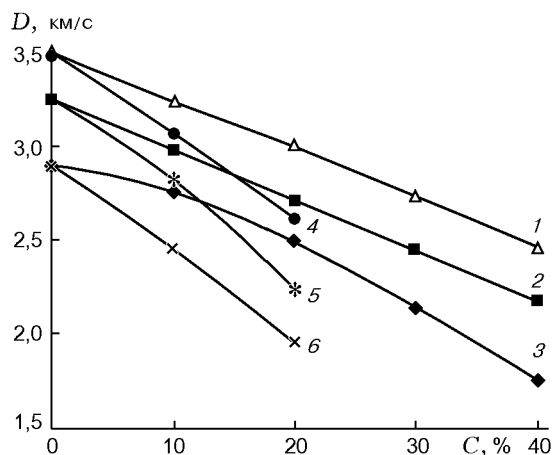


Рис. 1. Зависимость скорости детонации сыпучих взрывчатых смесей от содержания NaCl (1-3) и BaSO₄ (4-6):
Al, %: 3, 6 — 3; 2, 5 — 6; 1, 4 — 10

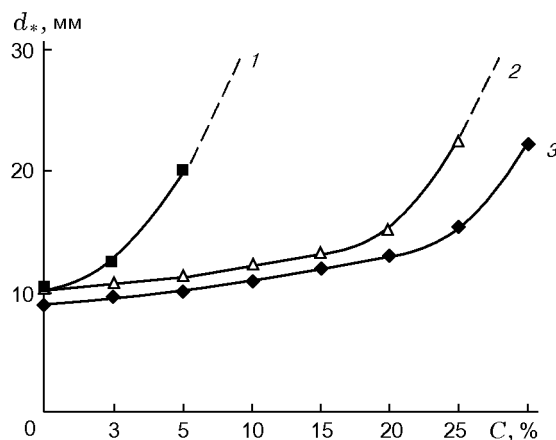


Рис. 2. Зависимость критического диаметра сыпучих ВВ от содержания BaSO₄ (1) и NaCl (2, 3):
Al, %: 1, 2 — 3; 3 — 6

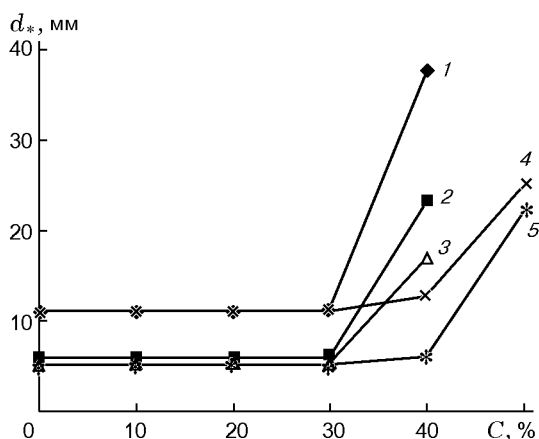


Рис. 3. Влияние NaCl (1-3) и BaSO₄ (4, 5) на критический диаметр водонаполненных ВВ, содержащих 20 % воды и алюминиевый порошок:
Al, %: 1, 4 — 3; 2 — 4; 3, 5 — 5

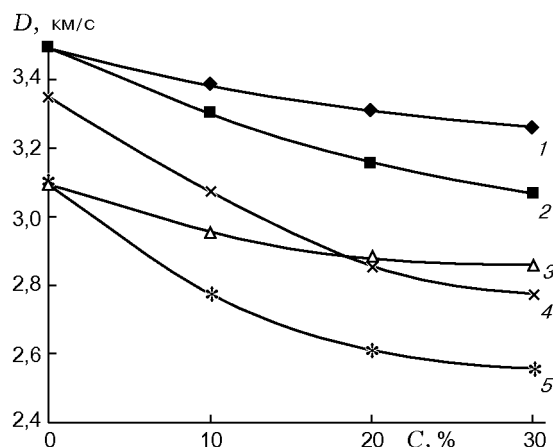


Рис. 4. Влияние BaSO₄ (1, 3) и NaCl (2, 4, 5) на скорость детонации водонаполненных ВВ, содержащих 20 % воды и алюминиевый порошок:
Al, %: 1, 2 — 5; 4 — 4; 3, 5 — 3

го состояния. Скорости детонации измеряли в стальных трубах с внутренним диаметром 24 мм, толщиной стенки 6 мм и длиной 250 мм при одинаковой пористости ВВ (47 %). Скорость определяли как отношение расстояния между датчиками к временному интервалу, регистрируемому электронным измерителем интервалов времени. Точность регистрации скорости детонации $\approx 0,5$ %. Исследовано также влияние добавок химически нейтральных солей на критический диаметр детонации смесей.

Критический диаметр измеряли методом телескопического заряда с точностью 1 мм. Результаты экспериментов представлены на рис. 1, 2.

Аналогичные исследования проведены для водонаполненных ВВ. Скорость детонации смесей пористостью 20 % измеряли в бумажных трубах диаметром 26 мм. Оптимальную структуру композиции получали тщательным перемешиванием. Опыты проводили при температуре 293 К. Результаты экспериментов показаны на рис. 3, 4.

Таблица 1

Состав ВВ, %				Состав жидкой фазы, %		K, %	ρ , г/см ³
NH ₄ NO ₃	BaSO ₄	H ₂ O	Al	NH ₄ NO ₃	H ₂ O		
72	5	20	3	38,4	20	13,14	1,21
67	10	20	3	38,4	20	13,14	1,25
62	15	20	3	38,4	20	13,14	1,28
57	20	20	3	38,4	20	13,14	1,32
52	25	20	3	38,4	20	13,14	1,36
47	30	20	3	38,4	20	13,14	1,40
42	35	20	3	38,4	20	13,14	1,44
37	40	20	3	37,0	20	12,98	1,50
32	45	20	3	32,0	20	12,30	1,55
70	5	20	5	38,4	20	13,14	1,22
65	10	20	5	38,4	20	13,14	1,26
60	15	20	5	38,4	20	13,14	1,29
55	20	20	5	38,4	20	13,14	1,33
50	25	20	5	38,4	20	13,14	1,37
45	30	20	5	38,4	20	13,14	1,41
40	35	20	5	38,4	20	13,14	1,46
35	40	20	5	35,0	20	12,72	1,51
30	45	20	5	30,0	20	12,0	1,57

Примечание. K — кислородный баланс жидкой фазы, ρ — плотность водонаполненного ВВ.

Таблица 2

Состав ВВ, %				Состав жидкой фазы, %			K, %	ρ , г/см ³
NH ₄ NO ₃	NaCl	H ₂ O	Al	NH ₄ NO ₃	NaCl	H ₂ O		
72	5	20	3	42,0	4,6	20	12,62	1,18
67	10	20	3	48,7	5,5	20	13,12	1,19
62	15	20	3	49,7	5,3	20	13,26	1,20
57	20	20	3	47,4	5,2	20	13,06	1,24
52	25	20	3	43,2	4,9	20	12,68	1,26
47	30	20	3	34,2	4,6	20	11,64	1,30
42	35	20	3	26,3	4,5	20	10,36	1,32
37	40	20	3	19,9	4,6	20	8,94	1,35
70	5	20	5	42,0	4,6	20	12,62	1,20
65	10	20	5	48,7	5,5	20	13,12	1,20
60	15	20	5	49,7	5,3	20	13,26	1,22
55	20	20	5	47,4	5,2	20	13,06	1,25
50	25	20	5	43,2	4,9	20	12,68	1,27
45	30	20	5	34,2	4,6	20	11,64	1,31
40	35	20	5	26,3	4,5	20	10,36	1,33
35	40	20	5	19,9	4,6	20	8,94	1,37

Параллельно проведен анализ жидких фаз испытываемых водонаполненных ВВ. По полученным результатам рассчитан состав и кислородный баланс отдельных фаз. Результаты анализа и расчетов показаны в табл. 1 и 2.

Добавление химически нейтральных веществ к нитрату аммония приводит к монотонному уменьшению скорости детонации D (см. рис. 1) и увеличению критического диаметра d_* (см. рис. 2). Причем сильнее всего это проявляется в смесях, содержащих $BaSO_4$ (все исследуемые смеси имели критический диаметр более 25 мм), т. е. соль с более мелким зерном. Наличие в смеси $NaCl$ или $BaSO_4$, несмотря на их химическую нейтральность, влияет на процессы, происходящие в детонационной волне. Зерна малого диаметра могут быть нагреты во всем объеме до температуры продуктов взрыва. Развитая поверхность частиц добавки способствует быстрой передаче тепла из зоны реакции внутрь добавок. Термохимическим эффектом присутствия кристаллов исследуемых неорганических солей является уменьшение теплоты и температуры взрыва, а также объема газовых продуктов взрыва.

Высокая дисперсность соли приводит к тому, что ее кристаллы частично экранируют поверхность частиц алюминиевого порошка от проникновения продуктов разложения нитрата аммония. Газовые продукты разложения аммиачной селитры, перемещаясь между зернами нейтральной соли, расходуют часть энергии, и в результате снижается температура активных газов у поверхности алюминиевых частиц. Эти явления задерживают начало горения алюминия, которое определяет ход детонации в ВВ. Увеличение в водонаполненных ВВ содержания $NaCl$ до 30 % или $BaSO_4$ до 40 % не вызывает изменения критического диаметра смесей (см. рис. 3). При большем содержании этих солей наблюдается рост значений d_* , причем более быстрый рост для смесей, содержащих $NaCl$. Такое различие предположительно обусловлено составом жидких фаз исследованных водонаполненных ВВ (см. табл. 1 и 2). При содержании до 30 % $NaCl$ и до 40 % $BaSO_4$ количество жидкой фазы и ее кислородный баланс, определяемый содержанием нитрата аммония, изменяются незначительно. Однако при боль-

шем содержании этих солей объем жидкой фазы и содержание в ней нитрата аммония резко уменьшаются.

Эти факторы приводят к интенсивному росту критического диаметра детонации, так как уменьшается пространство, в котором могут формироваться «горячие точки», а сгорание алюминия происходит в менее активной среде.

Добавление химически нейтральных солей к водонаполненным ВВ также существенно влияет на скорость детонации. С ростом содержания $NaCl$ и $BaSO_4$ скорость детонации монотонно уменьшается, причем уменьшается быстрее при добавлении $NaCl$ (см. рис. 4), а следовательно, смесей, в которых часть соли находится в жидкой фазе. В жидкой фазе $NaCl$ увеличивает возможность поглощения тепла из зоны реакции, непосредственно уменьшая интенсивность детонационной волны. В результате ее скорость снижается.

Итак, измерения критического диаметра и скорости детонации сыпучих и водонаполненных ВВ, сенсibilизированных порошком алюминия и содержащих нейтральные соли, показали, что воздействие исследованных добавок различно в зависимости от типа ВВ. Снижение скорости детонации и рост критического диаметра сыпучих ВВ более интенсивны при добавлении $BaSO_4$. Для водонаполненных ВВ ситуация обратная: добавка $NaCl$ сильнее понижает детонационные параметры. Выявленное различие нельзя объяснить на основе термохимических представлений. Однако имеется соответствие с основной гипотезой зависимости детонационных параметров ВВ, содержащих химически нейтральные добавки, от степени их измельчения.

В сыпучих ВВ размеры частиц сульфата бария были меньше, поэтому влияние инертной добавки на детонационные параметры оказалось сильнее. В случае водонаполненных ВВ наблюдалась обратная ситуация: большую «степень измельчения» имел хлорид натрия, растворенный в водном растворе нитрата аммония.

Представленные результаты исследований могут служить основой для разработки состава предохранительных взрывчатых смесей.

В зависимости от типа ВВ необходимо так подбирать физико-химические свойства «охлаждающего» компонента, чтобы их воздействие на процессы, происходящие при взрыве, было максимальным. В случае водонаполненных и эмульсионных ВВ кроме степени измельчения добавки необходимо учитывать ее растворимость в насыщенном водном растворе нитрата аммония.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Taylor J. W.** Detonation in Condensed Explosives. Oxford, 1952.
2. **Шведов К. К., Анискин А. И., Ильин А. Н., Дремин А. Н.** Исследование детонации сильноразбавленных пористых ВВ. I. Влияние инертной добавки на параметры детонации // Физика горения и взрыва. 1980. Т. 16, № 3. С. 92.
3. **Гольбиндер А. И., Андреев К. К.** Антиризутные взрывчатые вещества. М.;Л.: Углетехиздат, 1947.
4. **Дубнов Л. В.** Предохранительные взрывчатые вещества в горной промышленности. М.;Л.: Углетехиздат, 1953.
5. **Кукиб Б. Н.** О детонационной способности смесей инертных солей с нитроглицерином // Взрывное дело. 1966. Т. 60/17. С. 63.
6. **Van Dolah R. V., Mason C. M., Forshey D. R.** Development of slurry explosives for use in potentially flammable atmospheres. US Bureau of Mines Report of Investigations 7195, 1968.
7. **Баум Ф. А., Державец А. С.** Об инициировании детонации ударными волнами // Взрывное дело. 1966. Т. 60/17. С. 68.

*Поступила в редакцию 3/IX 1998 г.,
в окончательном варианте — 5/III 1999 г.*
