

СОСТАВ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ПРОДУКТОВ ДЕТОНАЦИИ СМЕСЕВЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

А. П. Ильин, А. А. Решетов

НИИ высоких напряжений при Томском политехническом университете, 634050 Томск

Экспериментально установлено, что при взрыве смесевых взрывчатых веществ, имеющих в своем составе азотсодержащие компоненты и горючее (алюминий, бор, титан), возможна реализация условий, при которых в конденсированных продуктах взрыва содержатся преимущественно нитриды в виде порошков дисперсностью $0,1 \div 1,0$ мкм, устойчивые при хранении на воздухе. Показана возможность образования низших летучих субоксидов.

Продукты детонации (ПД) мощных взрывчатых веществ (ВВ) содержат значительное количество молекулярного азота. При температуре детонации ВВ активность азота как окислителя должна быть высокой. Это подтверждается в экспериментах с ВВ, не имеющими в своем составе кислорода. Так, при подрыве смеси азид свинца с алюминием стехиометрического состава [1] продукты детонации кроме металлического свинца и алюминия содержали нитрид алюминия, причем теплота взрывчатого превращения смеси почти в три раза превышала ее значение для чистого азидов. В [2] на основе анализа состава газообразных ПД и их давления после взрыва смесей гексогена и тэна с бором расчетным путем (по материальному балансу азота) показано, что конденсированные продукты реакции должны содержать значительное количество нитрида бора.

В настоящей работе с помощью рентгенофазового и химического анализов исследованы конденсированные ПД смесей гексогена и тэна с алюминиевыми порошками различной дисперсности ($0,2 \div 10$ мкм). Цель работы — определить условия получения нитридсодержащих керамических порошков в условиях детонации ВВ. С практической точки зрения определение этих условий важно при целенаправленной утилизации металлизированных ВВ.

Смеси готовили методом сухого перемешивания, а заряды ВВ с различным содержанием алюминия — методом сухого прессования. Образцы диаметром 20 мм и массой $15 \div 20$ г подрывали в специальной герметичной камере объемом 1800 см^3 . Перед подрывом камеру промывали аргоном. После подрыва из нее стравливали газы, измеряли их объем, а твердые продукты реакции анализировали на дифракто-

метре ДРОН-2,0. Химический анализ ПД на содержание нитридов проводили по методике [3]. Конденсированные ПД представляли собой частью высокодисперсный порошок, частью тонкий слой легко измельчаемого спека на стенках бомбы; их собирали и анализировали отдельно. Дисперсность порошков, определяемая с помощью электронного микроскопа УЭМВ-100к, составила $0,1 \div 1,0$ мкм. Согласно электронной микроскопии конденсированные ПД состоят как из частиц с ярко выраженной огранкой, так и из частиц правильной сферической формы. Исходные данные по смесям и результаты анализов твердых продуктов детонации сведены в таблицу.

Из данных рентгенофазового анализа следует, что независимо от размеров частиц алюминия при его массовом содержании в смеси $m_{\text{Al}} = 10 \div 20\%$ образуется преимущественно метастабильная форма $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ и $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ в количестве $10 \div 15\%$. При $m_{\text{Al}} > 20\%$ в ПД смесей появляется нитрид алюминия, причем его содержание нарастает с увеличением m_{Al} и достигает максимального значения при стехиометрическом соотношении компонентов (Al + гексоген — 56 : 44, Al + тэн — 51 : 49).

Для смеси гексогена с алюминием стехиометрического состава по кислороду и азоту в конденсированных продуктах реакции по данным химического анализа содержится только 2 % остаточного алюминия, в то время как для смеси свинца с алюминием стехиометрического состава расчет на основе данных по теплоте взрывчатого превращения [1] дает значение 25 %. По-видимому, это связано с тем, что при детонации смесей алюминия с ВВ, в состав которых не входит кислород, идет гетерофазная реакция между алюминием и газо-

Смесь	m_{Al} , %	d , мкм	Массовый состав конденсированных ПД, %		
			AlN	γ -Al ₂ O ₃ , α -Al ₂ O ₃	Al
Al + гексоген	10	10	0,7	98,1	1,2
	20	10	4,1	94,5	1,4
	30	10	28,8	69,5	1,7
	35	10	43,1	55,3	1,6
	45	10	46,8	51,3	1,9
	50	10	49,3	48,6	2,1
	55	10	51,7	45,9	2,4
	10	0,23	1,2	97,5	1,3
50	0,23	57,1	41,0	1,9	
Al + тэн	26	10	9,4	88,8	1,8
	41	10	11,3	86,6	2,1
	51	10	27,5	70,2	2,3

Примечание. \bar{d} – среднеповерхностный диаметр частиц Al.

образным азотом. Скорость и полнота ее протекания ограничиваются диффузией азота через слой нитрида алюминия, образовавшийся на поверхности частицы. В случае кислородсодержащих ВВ реакция между газообразными Al₂O и N₂ протекает в газовой фазе с образованием конденсированной фазы, что обеспечивает более полное взаимодействие Al с ПД. Доказательством образования нитрида алюминия в процессе газопазных реакций служит тот факт, что при изменении дисперсности порошков алюминия на порядок (от 10 до 0,2 мкм) среднечисловой размер частиц нитрида алюминия не меняется и составляет по данным электронно-микроскопического анализа 0,1 ÷ 1,0 мкм. В то же время с ростом дисперсности порошков алюминия увеличивается выход нитрида алюминия, что может быть связано и с гетерогенной реакцией алюминия с азотом, скорость которой выше для порошка с большой площадью удельной поверхности (см. таблицу). Порошки нитрида алюминия состоят из частиц с ярко выраженной огранкой, устойчивы при хранении на воздухе.

Рассчитанный на основе данных рентгенофазового и химического анализов материальный баланс конденсированных продуктов детонации смесей стехиометрического состава показывает, что алюминий практически полностью реагирует с кислородом и азотом ПД. В этом случае газообразные продукты реакции должны содержать углерод или водород. Сравнение экспериментальных и теоретически рассчитанных теплот взрыва этих смесей показывает, что газообразные ПД содержат преимущественно непредельные углеводороды типа ацетилен, об-

разующиеся в результате эндотермической реакции между C и H₂.

Если рассмотренная модель образования нитрида алюминия верна, то ее можно проверить на других соединениях, образующихся по аналогичной схеме. Известно, что окисление бора в кислороде протекает через стадию образования низших оксидов [4], которые при параметрах детонации ВВ существуют в газообразном состоянии. Аналогично протекает и окисление титана. Следовательно, при введении бора и титана в состав ВВ в продуктах детонации должны присутствовать их нитриды. Анализ твердых продуктов реакций показал, что в них действительно содержатся гексагональный нитрид бора и нитрид титана, причем, как и в реакции с алюминием, бор и титан практически полностью реагируют с кислородом и азотом продуктов взрыва.

Таким образом, получены прямые доказательства образования нитридов в твердых продуктах детонации смесевых систем на основе мощных ВВ. По-видимому, образование нитридов алюминия, бора, титана протекает через стадию образования из низших оксидов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 98-02-16321).

ЛИТЕРАТУРА

1. Апин А. Я., Лебедев Ю. А., Нефедова О. И. Реакции азота при взрыве // Журн. физ. химии. 1958. Т. 32, № 4. С. 819–834.
2. Пепекин В. И., Махов М. Н., Апин А. Я. Реакция азота при взрыве // Физика горения и взрыва. 1971. Т. 8, № 1. С. 136–138.

3. Самсонов Г. В., Кулик О. П., Полищук В. С. Получение и методы анализа нитридов. Киев: Наук. думка, 1978.
4. Куликов И. С. Термодинамика оксидов. М.: Металлургия, 1986.

*Поступила в редакцию 5/III 1998 г.,
в окончательном варианте — 13/X 1998 г.*
