

ГЕНЕРИРОВАНИЕ ВЗРЫВНЫХ ВОЛН
В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ КАНАЛЕ НЕИДЕАЛЬНОЙ
ДЕТОНАЦИЕЙ ВЫСОКОПЛОТНЫХ СМЕСЕВЫХ
СОСТАВОВ АЛЮМИНИЙ–ТЕФЛОН–ГЕКСОГЕН

А. А. Сулимов, Б. С. Ермолаев, М. К. Сукоян

ИХФ РАН
г. Москва, Россия

В отличие от обычных конденсированных взрывчатых веществ (ВВ) неидеально детонирующие вещества открывают новые возможности для регулирования параметров возникающих взрывных волн, а также — закономерностей их изменения с расстоянием от заряда. Ранее [1, 2] в ходе исследований, проведенных в каналах и в открытом воздушном пространстве, было показано, что взрывные волны, образующиеся при неидеальной детонации смесевых композиций на основе перхлората аммония, углеводородного горючего, алюминия и гексогена, обладают повышенными характеристиками. Главной особенностью наблюдаемого режима химического превращения является то, что во фронте детонационной волны выделяется только часть химической энергии, преимущественно вследствие разложения взрывчатого сенсibilизатора — гексогена, а основная часть энергии выделяется в ходе реакций, растянутых в пространстве и времени.

В настоящей работе измерены параметры взрывных волн, образующихся в цилиндрическом канале при расширении продуктов неидеальной детонации трехкомпонентных композиций из мелкодисперсных порошков тефлона, алюминия и гексогена. Данные составы, обогащенные алюминием, обладают высокой теоретической плотностью, достигающей $2,2 \text{ г/см}^3$. Особый научный интерес вызывает возможность исследовать взаимодействие алюминия с фтором, который образуется при разложении тефлона.

Воздушные взрывные волны генерировали в канале установки «цилиндрическая труба», которая описана в [1]. Определены давле-

ние на фронте и импульс давления взрывных волн, генерируемых в трубе при расширении продуктов неидеальной детонации зарядов низкой пористости, получаемых прессованием из мелкодисперсных смесей алюминий–тефлон–гексоген. Измеренные параметры отнесены к аналогичным параметрам взрывных волн, получаемых при детонации заряда тротила одинаковой массы (100 г). Относительные величины использованы для оценки эффективности взрывных волн по отношению к тротилу.

Исследовались две взрывчатые композиции: базовый состав с избытком алюминия, в котором алюминий (Al), тефлон (Т) и гексоген (Г) были взяты в процентом соотношении 31,5% Al + 38,5% Т + 30% Г, а также состав с соотношением компонентов 18% Al + 52% Т + 30% Г, в котором содержание алюминия и тефлона отвечает стехиометрии (26% Al/74% Т). Гексоген в виде порошка со средним размером частиц 50–70 мкм использовался в качестве взрывчатого сенсibilизатора. Его содержание в смесях составило 30%, что, согласно имеющемуся опыту, позволяет избежать трудностей с инициированием независимо от свойств остальных компонентов. Применялся алюминий двух марок: алюминиевый порошок марки ПАП-2 с частицами в форме чешуек толщиной 1,2 мкм и удельной поверхностью около 7000 см²/г и порошок АСД-4 с частичками сферической формы, имеющий близкую удельную поверхность 6500 см²/г при среднемассовом размере частиц 3,7 мкм. Тефлон (фторпласт марки 4-Ф-4ПН) был использован в виде порошка с размером частиц менее 100 мкм. Смесь тщательно перемешивали и прессовали в шашки диаметром 23 мм и высотой, примерно равной диаметру, с пористостью ~ 10%. Из шашек собирали заряд длиной ~ 120 мм (т.е. не менее 5 диаметров заряда) и весом 92 г. Для инициирования в качестве бустера использовали таблетку тротила плотностью 1,5 г/см³, весом 8 г с отверстием под капсуль-детонатор ЭД-8. Заряд вместе с бустером (общий вес сборки равен 100 г) обматывали полимерной лентой и размещали в канале зарядной камеры, центрируя сборку с помощью специальных вставок таким образом, чтобы бустер был обращен к закрытому торцу камеры, а открытые торцы заряда и зарядной камеры совпадали. Зарядная камера изготавливалась из прочной стали и имела внутренний диаметр 60 мм и стенки толщиной 30 мм. Камера выдерживала 7–8 подрывов, не разрушаясь.

Продукты детонации истекали из зарядной камеры в цилиндрический канал, представляющий собой горизонтально расположенную стальную трубу внутренним диаметром 120 мм, длиной 4 м и стенками толщиной 15 мм. Торец трубы со стороны, противоположной заряду, был открытым. Центральные оси заряда и трубы совпадали.

По длине трубы располагались 5 высокочастотных пьезокварцевых датчиков давления марки AVL или Т-6000; расстояние (X) от открытого торца заряда до датчика равнялось, как правило, 0,8, 1,3, 1,8, 2,55, 3,3 и иногда 3,8 м. Сигналы с датчиков поступали на усилитель электрического заряда и регистрировались с помощью быстродействующего аналого-цифрового преобразователя на компьютере.

Предварительно была измерена с помощью фоторегистратора ЖФР-3 скорость детонации базового состава 31,5% Al + 38,5% T + + 30% Г, которая составила 4300 м/с при расчетном термодинамическом значении 6500 м/с. Это различие скоростей, а также интенсивная засветка фотопленки позволяют сделать вывод о том, что детонация исследуемой смеси протекает в неидеальном режиме, при значительном недогорании компонентов.

Результаты опытов по характеристикам взрывных волн в канале представлены в табл. 1. Для исследованных смесей давление на переднем фронте волны (P) превышает давление при взрыве тротила (P_{TNT}) в среднем на 10%–30% почти независимо от расстояния, пройденного вдоль трубы в интервале от 0,8 до 3,8 м. Зависимость амплитуды волны от формы частиц и содержания алюминия оказалась слабой. Подчеркнем, что в этом же интервале расстояний относительный импульс давления демонстрирует сильный рост от $\sim 0,5$ до 2,1 и выше, главным образом за счет увеличения длины волны. При этом на расстояниях до 2 м величина I/I_{TNT} остается меньше 1, т. е. импульс давления взрывной волны (I), генерируемой при детонации смеси, остается ниже, чем в опыте с тротилом (I_{TNT}). Лишь на больших расстояниях достигается более чем двукратное превышение по импульсу давления относительно тротила. Аналогичная закономерность наблюдается во всех проведенных опытах. Этот результат представляет интерес для получения высоких импульсов давления взрывных волн в зоне, удаленной от заряда.

Таблица 1 Характеристики исследованных составов и результаты опытов

№ опыта	Параметры заряда			Параметры взрывной волны в трубе				
	Состав	Плотность, г/см ³	Марка алюминия	X, м	P, атм	I, атм·мс	$\frac{P}{P_{TNT}}$	$\frac{I}{I_{TNT}}$
1	31,5% Al + + 38,5% T + + 30% Г	1,96	ПАП-2	0,80	44	20	1,03	0,5
				1,30	39	25	1,05	0,7
				1,80	35	36	1,08	1,11
				2,55	30	50	1,14	2,02
				3,30	25	40	1,17	2,07
2	31,5% Al + + 38,5% T + + 30% Г	1,96	АСД-4	1,30	56		1,4	
				1,80	41	23	1,26	0,72
				2,55	26,5	29	1,07	1,17
				3,30	23,9	28	1,1	1,45
				3,80	23,5	32	1,25	2,55
3	31,5% Al + + 38,5% T + + 30% Г	1,96	ПАП-2/ АСД-4 (1/1)	1,30				
				1,80	43		1,3	
				2,55	37	29	1,4	1,18
				3,30	29	28	1,36	1,45
				3,80	23	28	1,21	2,24
4	18% Al + + 52% T + + 30% Г	1,92	АСД-4	0,80	55	17	1,27	0,4
				1,30	44	30	1,13	0,8
				1,80	38	22	1,17	0,7
				2,55	34	41	1,29	1,65
				3,30	26	38	1,22	1,97

Полученные данные позволяют сделать предположение о том, что в детонационной волне реагирует, в основном, гексоген, химическое взаимодействие тефлона и алюминия в детонационной волне и в ближней к заряду зоне если и происходит, то со значительной неполнотой и задержкой. Напротив, по мере продвижения фронта волны по каналу усиливается вклад догорания алюминия, предположительно в ходе взаимодействия с фтором, который образуется при разложении тефлона, что оказывает ощутимую поддержку взрывной волне и обеспечивает получение высокого импульса давления волны.

Полученные данные можно сопоставить с результатами аналогичного исследования, выполненного ранее на составах, где вместе с алюминием и гексогеном использовался перхлорат аммония (ПХА) [1]. Было показано, что относительное давление на фронте волны проявляет слабую чувствительность к изменению расстояния вдоль трубы и к соотношению компонентов в смеси и лежит в диапазоне 1,4–1,8, т. е. имеет более высокое значение, чем для составов с тефлоном. Импульс давления уменьшается с увеличением расстояния от заряда. При этом величина относительного импульса, с учетом разброса, равномерно распределена по длине трубы, покрывая диапазон от 1,5 до 2 и более, а участок с $I/I_{\text{TNT}} < 1$, который наблюдается на составах с тефлоном, на композициях с ПХА отсутствует. Эти различия позволяют предположить, что ПХА быстрее и активнее вступает в химические реакции по сравнению с тефлоном, оказывая значительный вклад в амплитуду и импульс взрывной волны уже непосредственно при ее формировании.

Литература

1. Сулимов А. А., Борисов А. А., Ермолаев Б. С. и др. Генерирование взрывных волн в канале детонацией высокоплотных смесевых составов, обогащенных алюминием // *Химическая физика*, 2009. Т. 28. № 9. С. 70–79.
2. Борисов А. А., Сулимов А. А., Сукоян М. К. и др. Взрывные волны в открытом пространстве при неидеальной детонации высокоплотных смесевых составов, обогащенных алюминием // *Химическая физика*, 2009. Т. 28. № 11. С. 59–68.