

О ВЛИЯНИИ ВЯЗКОСТИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ДЕТОНАЦИИ ДИЭТИЛЕНГЛИКОЛЬДИНИТРАТА

УДК 662.215.2

Г. Д. Козак, Б. Н. Кондриков, М. Ю. Елисеенков,
Ю. С. Жук

Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева,
125190 Москва

Установлено, что рост вязкости диэтиленгликольдинитрата при добавлении 3% коллоксилина приводит к снижению критического диаметра высокоскоростной детонации жидкого ВВ в стеклянных трубках на 20%. В тонкостенных бумажных трубках на торцевых фоторегистраграммах отмечено появление предсказанного ранее пристенного нереагирующего слоя, толщина которого растет при движении фронта по заряду.

При торцевой фоторегистрации высокоскоростной детонации цилиндрических зарядов жидких взрывчатых веществ (нитрометана (НМ) [1, 2] и раствора динитротолуола в бис(нитроксиэтил)нитрамине — дине (БД) [2]) вблизи предела распространения наряду с обычными глубокими волнами отсутствия реакции [3] обнаружены спиновые детонационные волны, распространяющиеся по поверхности цилиндра. Сделан вывод, что возникновение волн отсутствия реакции связано с появлением спиновой детонационной волны. С другой стороны, ранее [4] установлено, что критический диаметр слабо желатинированного диэтиленгликольдинитрата (ДГДН) при уменьшении плотности заряда за счет введения микропузырьков воздуха при небольшой (~ 5%) пористости существенно растет. Вероятно, это связано с тем, что в микропористой среде за счет быстрого хаотичного воспламенения множества микропузырьков не формируется зона З — важный элемент восстановления детонационной волны в теории [5]. Был определен критический диаметр жидкого ДГДН ($d_* = 16$ мм). Известно, что повышение вязкости и желатинизация стабилизируют жидкое ВВ: горение становится более устойчивым, чувствительность уменьшается, ухудшаются условия образования кавитационных пузырьков. В результате возникают затруднения с иницированием и распространением низкоскоростной детонации. Представляет несомненный интерес выяснение влияния вязкости на детонационные характеристики жидкого ВВ в высокоскоростном режиме.

В данной работе проведены опыты с ДГДН, который получали по обычной лабораторной методике [6] и желатинировали добавлением 3% коллоксилина. По полученным ранее в нашей лаборатории данным для жидких нитроэфиров это приводит к увеличению ньютоновской вязкости на два порядка. Опыты проводили в стеклянной (цилиндрические трубки со стенками толщиной 1–2 мм) и бумажной (один слой кальки, склеенный внахлест со швом шириной 2–3 мм) оболочках. Длина заряда $L = 5d$.

Изучение волновых явлений проводилось по методу [2]: трубка, донная часть которой была приклеена к тонкой стеклянной пластинке, устанавливалась параллельно медной пластине-свидетелю на расстоянии 5–8 мм. Под стеклянной пластинкой под углом 45° к оси заряда помещали плоское зеркало. Иницирование осуществлялось сверху промежуточным детонатором — шашкой флегматизированного гексогена, диаметр которой близок

*Результаты опытов по определению критического диаметра
детонации ДГДН*

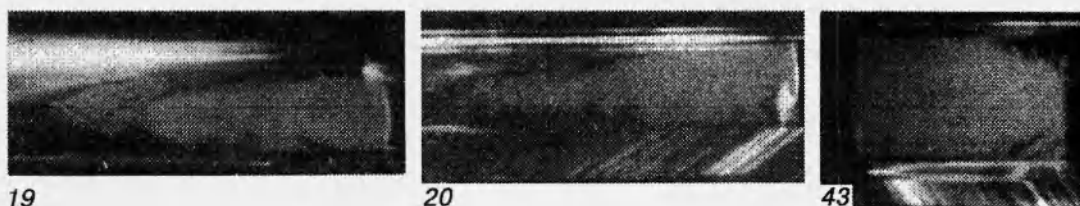
Оболочка	Номер опыта	d_* , мм	D , км/с	Резуль- тат	Номер опыта	d_* , мм	D , км/с	Резуль- тат
Стекло	15	ДГДН			ДГДН+3% коллоксилина			
		13,8*	—	—	37	12,0	—	—
		14,5*	—	—	40	12,5	—	+
		15,2*	—	—	39	12,9	—	—
		16,4*	—	+	38	13,0	—	+
		17,2*	—	+	41	13,5	—	+
		18,2*	—	+	42	13,5	—	—
		18,3*	—	+				
Калька	18	15,0	7,07	—	45	15,0	—	—
	19	15,2	6,92	—	44	15,5	6,96	+
	20	16,8	7,01	—	43	16,7	6,99	+
	17	16,8	7,03	+				

Примечание. * — данные А. В. Старшинова (длина зарядов $L = 10d$); + — высокоскоростная детонация; — — в кальке — затухание высокоскоростной детонации, в стекле — переход на низкоскоростной режим.

к диаметру трубки. Съёмку производили фоторегистратором. Методика позволяла фиксировать распространение детонационного фронта вдоль боковой поверхности заряда, регистрировать волны, которые видны при съёмке с торца, и получать отпечатки спиновых детонационных волн на пластине-свидетеле.

Результаты опытов по определению критического диаметра детонации приведены в таблице. Хорошо видно, что желатинизация облегчает распространение высокоскоростной детонации ДГДН: критический диаметр детонации в стеклянной оболочке уменьшается от 16,2 до 13,0 мм, в бумажной — от 16,3 до 15,3 мм. И для загущенного, и для незагущенного ДГДН на фоторегистрограммах (рисунок) видны зубообразные темные зоны — волны отсутствия реакции, неоднократно наблюдавшиеся ранее главным образом для нитрометана и состава БД. В бумажной оболочке, кроме того, в обоих случаях — и для желатинированного, и для нежелатинированного ДГДН — на пластинах-свидетелях регистрируются следы спиновых волн (как известно [1], даже очень слабая стеклянная оболочка препятствует обнаружению спиновых пульсаций на пластине-свидетеле). Соответствие места зарождения спиновых волн на фоторегистрограммах и пластинах-свидетелях примерно такое же, как показано в [2] для смесей БД.

На торцевых развертках в опытах, проведенных в бумажной оболочке, отчетливо видно, что поперечный размер детонационного фронта по мере его перемещения от мощного инициатора ко дну заряда существенно уменьшается — у цилиндрической поверхности возникает слой непрореагировавшего вещества, предсказанный в [1], в котором появляются спиновые детонационные волны. Волны отсутствия реакции не развиваются в слое ударно-сжатого вещества у стенки и распространяются только в приосевой центральной



Торцевые фоторегистрограммы детонации жидкого и желатинированного ДГДН в бумажной оболочке.

Распространение детонации справа налево. Числа на фотографиях соответствуют номерам опытов (см. таблицу)

части заряда. Пристенный слой вещества разбрасывается под действием повышения давления в центральной зоне и в результате прохождения по нему спиновых детонационных волн. В той верхней части заряда, где спиновый слой еще не образовался, на торцевых и боковых развертках обычно видны струи нагретых до высокой температуры продуктов детонации. На тех участках торцевой фотографии, которые отвечают донной части заряда, их нет — разбрасывается относительно холодное вещество. Более детально картину можно представить, рассмотрев каждую из приведенных фотографий (см. рисунок).

Опыт 19. Темный слой (верхняя часть фотографии) появляется сразу после инициирования — шашка-инициатор смещена и не доходит до стенки трубки. Разбрасываемое ВВ сгорает, давая яркое свечение между пластиной-свидетелем и боковой поверхностью цилиндра. В нижней части снимка темная зона возникает после прохождения детонационной волной примерно половины длины заряда и расширяется, поглощая зону действия классической волны отсутствия реакции.

Опыт 20. Темный толстый граничный слой вновь возникает в нижней части снимка позже, чем в верхней. Слой разрастается до тех пор, пока детонация не затухнет. В нижней части фотографии на начальном участке видны струи продуктов детонации, в верхней — между зарядом и пластиной-свидетелем идет относительно медленное горение капель и паров разбрасываемого вещества.

Опыт 43. Глубина резкости невелика — применялась насадочная линза. Наводка на резкость по зеркалу произведена на донную часть заряда. В ней видны волны отсутствия реакции. В нижней части снимка появляется темная зона после прохождения детонационной волной $2/3$ длины заряда.

Причина влияния вязкости на критический диаметр высокоскоростной детонации очевидна. В работе [7] показано, что скорость волны отсутствия реакции v связана с частотой колебаний на границе детонационного фронта. Повышение вязкости уменьшает частоту, снижает v и в соответствии с формулой А. Н. Дремина [5] — значение d_* . Для жидкого и желатинированного ДГДН получено $v = 2,5$ и $2,0$ мм/мкс соответственно. Отношение скоростей $(5/4)$ примерно такое же, как отношение критических диаметров в стеклянных трубках.

В бумажных трубках в связи с появлением спиновых волн меняются и критический диаметр, и влияние на него вязкости. В пристенном нереагирующем слое, толщина которого растет при движении фронта по заряду, возникают спиновые детонационные волны, препятствующие развитию процесса реиницирования детонации в зоне 3 модели А. Н. Дремина. Соответственно снижение величины d_* при увеличении вязкости получается меньше. Очевидно, что при дальнейшем росте вязкости полученный здесь эффект

довольно быстро исчезнет: волны реакции, характерные для жидких веществ, не возникнут, процесс перейдет на режим распространения с гладким детонационным фронтом, а спиновые волны в высоковязкой системе коллоксилин — жидкий нитроэфир из фактора, препятствующего распространению детонации [2], превратятся в фактор, способствующий ему, как это показано для кристаллических ВВ и баллиститного пороха [1].

Было проведено также несколько опытов в стеклянной оболочке с желатинированным ДГДН, в который путем перемешивания тефлоновой мешалкой вводились пузырьки воздуха. Размер пузырьков был гораздо больше, чем в [4]. На боковых фоторегistroграммах на линии детонационного фронта видно множество ярких вспышек — следов быстрого сжатия пузырьков. Увеличения критического диаметра детонации, полученного в [4], при этом не наблюдается: при средней пористости заряда 5–7% он остается таким же, как для гомогенного желатинированного ВВ (~ 13 мм). Очевидно, крупные пузырьки не мешают развитию процесса реиницирования детонации в зоне З, и детонационный фронт в крупнопористом веществе восстанавливается так же, как в гомогенном.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козак Г. Д., Кондриков Б. Н., Обломский В. Б. Спиновая детонация в твердых веществах // Физика горения и взрыва. 1989. Т. 25, № 4. С. 86–93.
2. Козак Г. Д., Кондриков Б. Н., Обломский В. Б. Спиновая волна и затухание детонации жидких ВВ // Физика горения и взрыва. 1992. Т. 28, № 2. С. 93–98.
3. Campbell A. W., Holland T. E., Malin M. E., Cotter T. P. Detonation phenomena in homogenous explosives // Nature. 1956. V. 178, N 4523. P. 38.
4. Кондриков Б. Н., Козак Г. Д., Обломский В. Б., Савкин А. В. Детонационные превращения в аэрированной жидкости // Физика горения и взрыва. 1987. Т. 23, № 2. С. 83–91.
5. Дремин А. Н. Критический диаметр детонации жидких взрывчатых веществ // Докл. АН СССР. 1962. Т. 147, № 4. С. 870.
6. Орлова Е. Ю., Жилин В. Ф., Збарский В. Л., Шутов Г. М. Руководство к лабораторному практикуму по получению нитросоединений. М.: МХТИ им. Д. И. Менделеева, 1969.
7. Гамезо В. Н., Кондриков Б. Н. О связи скорости волны затухания реакции с энергией активации // Хим. физика. 1993. Т. 13, № 11. С. 1502.

Поступила в редакцию 10/V 1995 г.