

ПУЛЬСИРУЮЩИЕ ПО ДЛИНЕ ЗАРЯДА ВЗРЫВНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПОРИСТЫХ ВВ

К. К. Шведов, А. Н. Дремин
(Черноголовка)

Важная особенность процесса детонации, существенно влияющая на практическое применение ВВ, состоит в устойчивости детонационного процесса по длине заряда. Известно, что параметры нормальной детонации в конденсированных ВВ не зависят от длины заряда. Однако при диаметрах заряда, близких к критическим, часто возникают взрывные процессы, параметры которых значительно ниже параметров нормальной детонации и не сохраняются постоянными по длине. Наиболее известна из таких процессов «низкоскоростная детонация» (НСД). Несмотря на большое число работ (см. обзор [1]), ряд вопросов остается нерешенным, в частности вопрос об устойчивости [2, 3]. Во многом это связано с тем, что на взрывные процессы, возникающие на пределе распространения детонации, влияет много факторов. К числу важных следует отнести и длину заряда. Для однозначных выводов о существовании взрывных процессов и их стационарности необходимо проводить исследования на зарядах большой длины, что не всегда удается сделать.

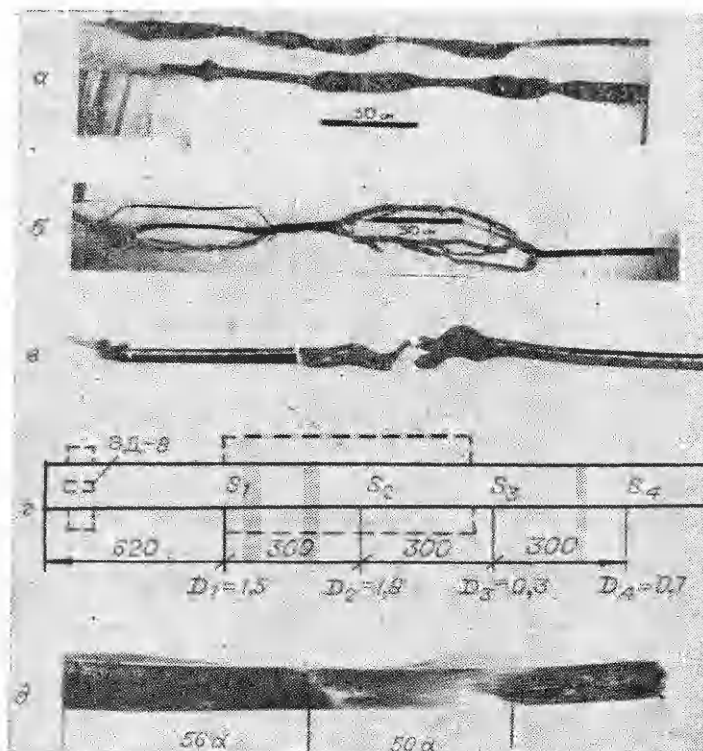
В данной работе описаны некоторые результаты изучения взрывных процессов на пределе распространения детонации в зарядах пористых ВВ в оболочках длиной до 100 и более калибров. Обнаружены сложные пульсирующие по длине заряда процессы взрывчатого превращения, включающие, по-видимому, стадии ударно-волновую и горения.

Исследования проводили на зарядах из дымного пороха плотностью $\rho_0 = 0,7$ г/см³ и смесового состава из аммиачной селитры и вспененного полистирола ($\rho_0 = 0,2$ г/см³) в стальных трубах, а также на зарядах пористого тротила ($\rho_0 = 1,0$ г/см³) в стеклянных трубках малого диаметра. Иницирование производили стандартными детонаторами. В большинстве опытов со стороны инициатора заряд засыпался забойкой из влажного песка длиной 100—300 мм. О характере взрывных процессов судили по деформации труб, дюралевых пластин-свидетелей в опытах со стеклянными трубками, а также по измерениям скорости фронта на отдельных участках фотографическим или осциллографическим методом.

Как правило, в экспериментах с трубами различного диаметра наблюдалось равномерное раздутие или разрыв от места иницирования на всю длину, которая достигала 3—5 м при диаметре трубы 30—40 мм. Однако на зарядах с порохом в трубах с наружным диаметром $d_n = 34$ и 42 мм и толщиной стенки 3 мм и зарядах из полистирольного состава в трубах с $d_n = 30—34$ мм той же толщины наблюдались периодически повторяющиеся слегка раздутые и разорванные участки (см. рисунок, а, б). Размеры таких участков в отдельных опытах составляли от нескольких сантиметров до 1,4 м и не сохранялись постоянными.

Измерения скорости фронта D в отдельных опытах показали, что в зарядах с порохом на участках, где труба слегка раздута, $D = 0,1 \div 0,2$ км/с, а на участках разрыва — от 0,4—0,6 до 1 км/с. В полистирольном составе в местах разрыва трубы $D = 1,5 \div 1,9$ км/с, а в местах раздутия — 0,3—0,7 км/с. Специальные опыты с одновременным измерением скорости фронта в различных участках заряда показали, что деформация трубы находится в полном соответствии с колебаниями скорости распространения взрывного процесса по заряду (см. рисунок, в, г) и происходит непрерывно по мере распространения фронта.

С целью выяснения природы и условий появления пульсирующих по длине заряда режимов распространения взрыва выполнен ряд экспериментов на зарядах тротила насыпной плотности с размером частиц $\delta_1 \leq 0,25$, $\delta_2 \leq 0,25 \div 0,5$ и $\delta_3 \leq 0,5 \div 1,0$ мм в стеклянных трубках диаметром 12,2, толщиной стенки 1 мм и длиной 1,4 м. О характере процес-



Результаты наблюдений пульсирующих взрывных процессов в различных ВВ. а—е) деформация стальных оболочек заряда при подрыве дымного пороха (а) и полистирольного состава (б, е); в) схема опыта и результаты измерения скорости фронта процесса в полистирольном составе (деформация трубы показана на кадре е); д) отпечатки на пластине-свидетеле от процесса в ТНТ в стеклянной оболочке.

са судили по фотографической регистрации скорости фронта на начальном участке протяженностью ~ 300 мм и отпечаткам на пластинах-свидетелях из дюралюминия, к которым плотно прижимался заряд. В зарядах с δ_1 детонация распространялась со скоростью 3,6 км/с устойчиво по всей длине, а в зарядах из частиц с δ_2 и δ_3 — затухала.

Сделаны попытки получить промежуточные режимы взрывного процесса подмешиванием крупных частиц к мелким. Таким образом удавалось получать переходные режимы со скоростью фронта от 3 до 1,4 км/с, которые распространялись на длину 80—160 калибров с явными признаками затухания на последних 10—20 калибрах. Затухание чаще всего происходило резко. В серии экспериментов на смеси с $\delta_1/\delta_2 = 40/60$ зарегистрирован сложный процесс с явными признаками НСД на участке длиной 56 калибров, который затем прерывается на длине в 50 калибров (пластина на этом участке не имеет каких-либо признаков деформации и копоти), а на конечном участке длиной 10—15 калибров вновь возникает в форме горения (обилие копоти без деформации пластины, см. рисунок, д). Возможно, что при большей длине заряда горение перешло бы в НСД и процесс повторился заново. Поэтому данный результат можно трактовать как указание на существование сложного пульсирующего процесса, распространяющегося по схеме НСД — горение — НСД. Очевидно, что в металлических трубах возникновение таких процессов облегчается.

Полученные качественные и количественные данные указывают, что обнаруженный в стальных трубах пульсирующий взрывной процесс, по-видимому, представляет собой сложный комплекс, состоящий из чередующихся ударно-волновых процессов типа НСД и стадий неустойчивого горения. Вероятно, пульсирующий взрывной процесс такого рода возникает при диаметрах заряда, которые меньше критических для нормаль-

ной детонации. В этих условиях процесс типа НСД не может развиваться до нормальной детонации и затухает, вызывая при некоторых условиях горение, переходящее в НСД, затем процесс повторяется.

Важное обстоятельство состоит в том, что ударно-волновой процесс обрывается после прохождения расстояний в 30—40, а в некоторых случаях и 100 калибров. Очевидно, что здесь имеет место явление, в принципе отличающееся от процесса установления нормальной детонации под действием мощного инициатора при диаметрах заряда, далеких от критических. В основе его лежит, видимо, неустойчивость, связанная со срывом ударно-волнового процесса типа НСД. Причина срыва его пока не ясна. Возможно, она обусловлена сильной зависимостью времени разложения твердых неоднородных ВВ от давления при низких амплитудах ударно-волнового воздействия. Как известно, при детонационных давлениях (обычно выше 50 кбар) время реакции слабо зависит от амплитуды [4]. Применение метода торможения границы раздела позволило получить данные о временах разложения пористых ВВ в области низких давлений, в которой наблюдаются обычно ударно-волновые переходные процессы типа НСД [5]. Из них следует, что при давлениях 10—20 кбар время разложения сильно зависит от амплитуды и размера частиц ВВ, что связано, видимо, с очаговым механизмом превращения вещества и аррениусовской зависимостью скорости реакции в очаге от температуры.

Другая причина срыва НСД может состоять в отрицательном влиянии на детонационную способность ВВ упругих колебаний стенок трубы впереди фронта процесса, аналогично действию канального эффекта [6].

Затухание ударно-волновых процессов типа НСД и возникновение пульсирующих режимов распространения взрыва на зарядах длиной в десятки и сотни калибров вблизи критического диаметра заряда возможно и в других ВВ в условиях их практического использования. Так, по данным [7] при взрывах шланговых зарядов игданита диаметром 120 и 150 мм длиной до 30 м в грунте наблюдалось затухание детонации. Причем в зарядах диаметром 150 мм затухание заметно лишь на расстоянии больше 10 м (т. е. после прохождения расстояния в 60 калибров), а затухающий процесс не прекращался полностью на длине 30 м. Не исключено, что при большей длине заряда взрывной процесс стал пульсирующим.

В заключение отметим, что обнаруженные крупномасштабные пульсирующие по длине заряда процессы являются уникальной формой распространения взрывчатого превращения вблизи пределов детонации и необходимо их дальнейшее детальное исследование.

*Поступила в редакцию 28/XI 1984,
после доработки — 26/II 1985*

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Сулимов, Б. С. Ермолаев.— В кн.: Химическая физика процессов горения и взрыва. Детонация. Черноголовка, 1977.
2. К. К. Шведов, С. А. Колдунов, А. Н. Дремин. ФГВ, 1973, 9, 3, 424.
3. О. К. Розанов, А. И. Дремин. ФГВ, 1970, 6, 3, 342.
4. А. Н. Дремин, С. Д. Савров, В. С. Трофимов и др. Детонационные волны в конденсированных средах. М.: Наука, 1970.
5. С. А. Колдунов, К. К. Шведов, А. Н. Дремин. ФГВ, 1973, 9, 2, 295.
6. Л. В. Дубнов, Н. С. Бахаревич, А. И. Романов. Промышленные взрывчатые вещества. М.: Недра, 1973.
7. А. А. Вовк, Ю. П. Андреев, В. Г. Кравц, В. В. Постнов.— В кн.: Взрывное дело, № 74/131. М.: Недра, 1974.