

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

О ДЕТОНАЦИИ С МАЛОЙ СКОРОСТЬЮ
ЛИТЫХ ЗАРЯДОВ ТРОТИЛА И ДИНЫ

И. В. Бабайцев, Б. Н. Кондриков, В. Ф. Тышевич

(Москва)

Известно, что некоторые жидкие [1—4], пластичные [5], а в зарядах малой плотности и порошкообразные [6] взрывчатые вещества способны при определенных условиях к детонации с так называемой малой (1—2 км/сек) скоростью, существенно отличающейся по механизму возбуждения и распространения реакции в детонационной волне от обычной высокоскоростной детонации. Ниже описаны опыты, в которых устойчивая детонация с малой скоростью была получена и в случае литых зарядов взрывчатых веществ.

Опыты проводились с тротилом и (в меньшей степени) с диной в виде литых зарядов в стальных (Ст. 3) трубках внутренним диаметром 7—15, наружным 16—36 и длиной до 300 мм. Нагретое на 10—20° выше температуры плавления взрывчатое вещество заливали в предварительно подогретую трубку и по мере охлаждения добавляли расплав в образующуюся усадочную раковину. В части опытов шашки готовили отдельно, заливая взрывчатое вещество в металлическую матрицу или стеклянные трубки, обычно охлаждаемые водой. Полученные при этом заряды имели плотность 1,57—1,61 г/см³ (тротил), не содержали заметных на глаз раковин, пор и других неоднородностей и обычно состояли из радиально расположенных игольчатых кристаллов длиной до 7 и толщиной около 0,5 мм.

В качестве инициатора применяли электродетонаторы ЭД-8-56 и ЭД-202, а также смеси тонкодисперсного гексогена с хлористым натрием (средний размер частиц гексогена около 5 мк, NaCl—0,2 мм), помещавшиеся в стеклянные трубки диаметром 1 и длиной 5 см. Скорость детонации этой смеси при плотности 1,3—1,4 г/см³ при содержании гексогена 10; 20; 30 и 40% — 1,3; 2,2; 3,4 и 4,8 км/сек соответственно.

Съемка процесса и определение скорости детонации осуществлялись при помощи скоростного фоторегистра СФР-2 с трубками, в стенках которых на расстоянии 1—3 см друг от друга сверлились радиальные отверстия диаметром 2—3 мм.

Тротил, залитый в трубки внутренним диаметром 9—10 и наружным 36 мм, при инициировании дополнительным детонатором (2—5 г гексогена или тетрила), а в трех опытах и семи и при непосредственном инициировании электродетонатором ЭД-202 детонировал с высокой скоростью (6,7—6,8 км/сек). Трубки при этом дробились на куски (рис. 1). В 4-х других опытах с электродетонаторами и смесью гексоген — NaCl 50/50 и 40/60 (всего около 30 опытов)¹ процесс протекал без разрушения оболочки. Тротил при этом реагировал полностью, лишь иногда в лабораторной взрывной камере после взрыва находили несколько крупинки тротила. Стенки трубки были покрыты тонким слоем сажи. Полнота реакции, очевидно, обусловлена прочностью и сплошностью оболочки. В опыте, при котором в стенке трубки была прорезана щель шириной около 2 мм, процесс прошел до конца, щель равномерно расширялась до 6 мм по всей длине, но измельченный тротил оказался разбросанным по дну камеры в виде сектора с вершиной у щели. В длинных трубках канал бочкообразно раздут: при длине 29 см диаметр канала в средней части трубки увеличивался на 5 мм, при 20 см — на 1—2 мм (при 7—10 см диаметр канала не менялся). Если трубка устанавливалась на стальную плиту, нижняя часть канала расширялась, образуя небольшую воронку. Помещение вслед за столбиком тротила небольшого количества (слой толщиной 3—10 мм) гексогена приводило к сильной деформации или разрушению трубки на длину до 7 см от конца, противоположного инициатору.

Сходная картина поведения литых зарядов тротила в трубках наружным диаметром 36 мм наблюдалась и при диаметре канала 15 мм. Не привело в этом случае

¹ При инициировании смесью, содержащей 30 и 20% гексогена, детонация затухала на расстоянии 2—4 см от инициатора.

к заметным отличиям и применение вместо зарядов, заливаемых в трубку, шашек литого тротила, вставляемых с небольшим зазором (диаметр шашки примерно на 0,5 мм меньше диаметра канала), заполненным воздухом. В двух опытах зазор (1—1,5 мм) был заполнен бумагой; на расстоянии 5—15 см от инициатора процесс затух.

Детонация устойчиво распространяется также в тротиле, залитом в трубку с более тонкими стенками — 5 мм вместо 13 (диаметр канала 9 мм). Расширение канала

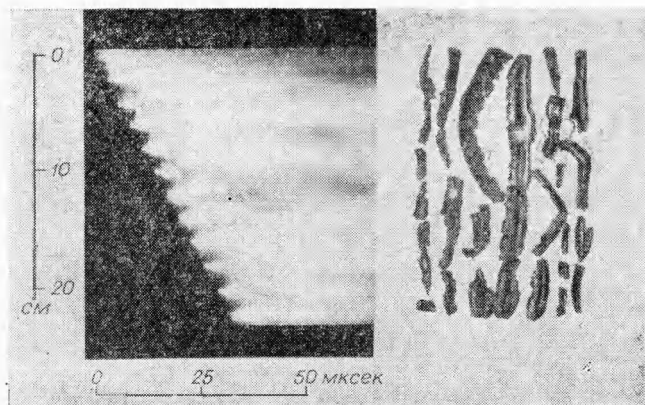


Рис. 1. Детонация с большой скоростью, инициатор — ЭД-202, отверстия заполнены гексогеном (справа вид трубки после опыта).

трубки в этом случае было более сильным. В трубках со стенками толщиной 3 мм (инициатор ЭД-8-56) детонация не распространялась: верхняя часть трубки была раздута или разорвана, большая часть заряда осталась без изменений. Детонация с большой скоростью (инициатор ЭД-8-56 и 1 г гексогена) в этих условиях распространялась устойчиво.

Распространения детонации не происходило, если заряд из литого тротила помещали в воду или плексиглас (диаметр заряда 9—14 мм, толщина слоя воды 4 см, плексигласа — 1 см, инициатор ЭД-8-56). Не распространялся процесс и в том случае, когда стальная трубка с каналом диаметром 9—10 мм и стенками толщиной 5 или 13 мм была разрезана вдоль пополам, и сопротивление разрушению оболочки осуществлялось только за счет сил инерции.

Измерение скорости процесса осложняется тем, что свечения, по крайней мере при небольшом диаметре отверстий (2—3 мм) в оболочке, непосредственно с помощью фоторегистра уловить не удастся. Не видно на фотографии также свечения при выходе процесса на торец заряда. В связи с этим было опробовано несколько косвенных способов определения скорости: 1) на противоположном инициатору торце заряда помещалась небольшая навеска гексогена; радиальные отверстия в оболочке заполнялись: 2) гексогеном, 3) аргоном (устье отверстия заклеивалось прозрачной пленкой), 4) небольшим количеством (~10 мг) азида свинца, 5) использовался азид свинца и аргон совместно. Эксперимент показывает, что ни азид свинца, ни тем более гексоген, находящиеся в радиальных отверстиях, просверленных в толстостенной стальной трубке, не возбуждаются волной, распространяющейся со скоростью звука в оболочке.

Применение первого способа дало среднюю скорость процесса, второго, четвертого и пятого — также изменение скорости по длине заряда. Фотография, полученная по последнему способу, приведена на рис. 2. Видно, что скорость вблизи инициатора велика, но затем резко падает, после чего уже более не меняется. При использовании других способов съемки свечение было либо более слабым, либо наблюдалось только в части отверстий. Однако во всех случаях средняя скорость распространения получилась примерно одинаковой: 2,6—2,8 км/сек в трубках длиной 7—10 см; 2,1—2,3 км/сек в трубках длиной 20 см. Одинаковым было и изменение скорости по длине трубки: в прилегающей к инициатору части заряда (длиной 3—6 см) — 3—4 км/сек, в остальной части (длиной до 22 см) $1,9 \pm 0,1$ км/сек (средний результат и средняя погрешность по 10 опытам при диаметре 9 и 15 мм).

Удалось также возбудить детонацию с малой скоростью в зарядах из литой дини. Она возникла в трех из семи опытов при иницировании смесью гексоген — NaCl (12/88) зарядов диаметром 9 мм в трубках наружным диаметром 36 мм. В двух

опытах возникла детонация с высокой скоростью, и в двух наблюдался отказ. При содержании гексогена в смеси 15—20% во всех случаях с самого начала возникла детонация с большой скоростью, 10-процентная смесь не возбуждала детонации дины. В двух опытах при длине заряда 29 см (диаметр 7 мм) детонация с малой скоростью перешла в детонацию с большой: начиная с 15—16 см от места инициирования, трубка была раздроблена на куски. На основании опытов по переходу горения

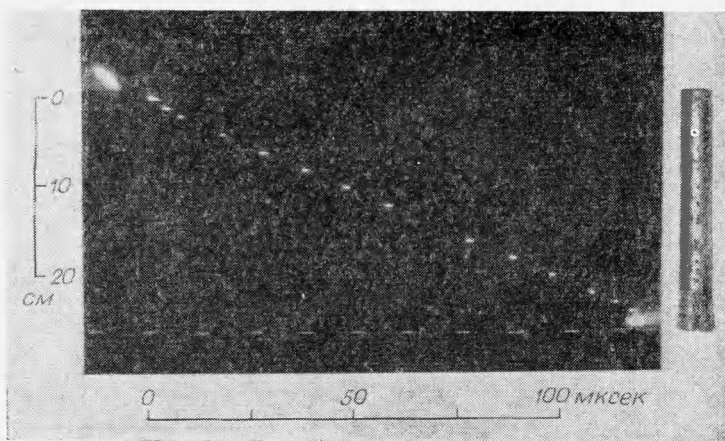


Рис. 2. Детонация с малой скоростью инициатор — смесь гексогена с NaCl (50/50), в отверстиях 10 мг азида свинца и аргон, в конце заряда слой (1 см) порошкообразного гексогена (справа вид трубки после опыта).

литых зарядов вторичных ВВ в детонацию, результаты которых будут опубликованы позже, можно полагать, что детонация с малой скоростью возможна также в литых зарядах из тринитробензола и пентолита.

Легко видеть, что скорость процесса, распространяющегося в литом тротиле и возбуждающего детонацию зарядов-свидетелей из азидов и гексогена, близка к скорости распространения в нем звука (по данным А. Д. Марголина 2,0 км/сек). Пока нельзя с уверенностью утверждать, что эта величина равна скорости распространения детонации по тротилу, однако тот факт, что волна, распространяющаяся с такой скоростью (см. рис. 2), инициирует гексоген в конце трубки, является веским доводом в пользу такого утверждения¹. Если учесть, что распространение детонации оказывается возможным и при неплотном прилегании шашки к стенкам трубки, можно предположить, что распространение низкоскоростной детонации в тротиле связано с распространением ударной волны не по стенке трубки (как это предполагалось для нитроглицерина [3]), а по заряду самого взрывчатого вещества.

Роль оболочки, по-видимому, сводится к тому, чтобы поддерживать в зоне реакции достаточно высокое давление. Разрушение оболочки приводит к падению давления и затуханию детонации. С другой стороны, наличие оболочки делает процесс в некотором отношении неустойчивым: догорание непрореагировавшего во фронте низкоскоростной детонации вещества тем более полное и быстрое, чем больше скорость его горения и чем длиннее оболочка заряда, может привести к существенному повышению давления и возникновению ударной волны, достаточно мощной для возбуждения детонации с высокой скоростью, как это и имело место в опытах с длиной в длинных трубках. Можно предположить, что такой же самопроизвольный переход детонации с малой скоростью в детонацию с большой, несвязанный, в отличие от того, что предлагали авторы некоторых работ [7—9], с существованием фронта нормально-го горения, имел место и при переходе горения литых взрывчатых веществ в детонацию.

Авторы с благодарностью отмечают участие в проведении опытов З. В. Пауковой и М. А. Ромашевской.

Поступила в редакцию
26/VI 1967

¹ В том случае, когда между зарядом тротила длиной 6 см и гексогеном был помещен столбик литой бензойной кислоты длиной 12 или 20 см детонация гексогена не инициировалась, хотя азид свинца в радиальных отверстиях взорвался.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ф. Наум. Нитроглицерин. М.—Л., ГХТИ, 1934, стр. 123.
2. Ю. Б. Харитон, С. Б. Ратнер. Докл. АН СССР, 1943, 41, 1.
3. И. М. Воскобойников, А. В. Дубовик, В. К. Боболев. Докл. АН СССР, 1965, 161, 5, 4.
4. А. В. Дубовик, И. М. Воскобойников, В. К. Боболев. ФГВ, 1966, 4.
5. J. Taylor. Detonation in Condensed Explosives. Oxford, 1952.
6. А. Я. Апин, В. К. Боболев. Докл. АН СССР, 1947, 53, 2.
7. А. Масек. J. Chem. Phys., 1959, 37, 1.
8. R. W. Gipson, A. Масек. Eighth Symposium (International) on Combustion. Baltimore, 1962, p. 847.
9. D. Price, J. F. Wehner. Combustion and Flame, 1965, 9, 1.

УДАРНАЯ СЖИМАЕМОСТЬ ПОРОШКООБРАЗНОГО ТРОТИЛА

В. А. Васильев, Л. Г. Болховитинов, Б. Д. Христофоров
(Москва)

Данные об ударной сжимаемости порошков непрореагировавших взрывчатых веществ необходимы как при рассмотрении ряда вопросов, связанных с их инициированием ударной волной, так и для получения дополнительных сведений о свойствах вещества при высоких давлениях и температурах.

Ниже приводятся результаты опытов по определению ударной сжимаемости порошка тротила с размером зерен $\sim 0,1$ мм, начальной плотностью $\rho_{00} = 1$ г/см³ и пористостью $\rho_0/\rho_{00} = 1,68$, где ρ_0 — плотность монокристалла.

В настоящее время опубликованы лишь данные об ударной сжимаемости сплошных ВВ [1—4]. В опытах электромагнитным методом [5] измерялись волновая D и массовая u скорости ударной волны. Использовался электромагнит с диаметром полюсных наконечников и расстоянием между ними ~ 200 мм, напряженностью поля в зазоре ~ 400 э, при неоднородности поля на пути движения датчика меньшей 1%. Сигналы от датчиков П-образной формы из алюминиевой фольги обычно толщиной 0,08—0,18 мм с длиной перекладки 15 мм регистрировались осциллографом ОК-17М. При проведении опытов внутри заряда на различных расстояниях от его торца одновременно устанавливались 2—4 датчика на расстояниях 2—10 мм друг от друга. Скорость ударного фронта определялась по времени прохождения волны между датчиками. Соответствующее значение массовой скорости u на середине расстояния между датчиками определялось как среднее из их показаний. Точность отдельного измерения D и u составляла около $\pm 5\%$.

Ударная волна в зарядах сыпного тротила диаметром 30—60 мм в бумажной оболочке возбуждалась взрывом сферических зарядов из литого ТГ 50×50 весом 80—135 г. Активные заряды располагались на расстояниях 35—80 мм от торца пассивного заряда. Изменяя расстояние между пассивным и активным зарядами, вес последнего и глубину заложения датчиков, удалось в широких пределах изменять параметры ударной волны в тротиле. При начальной массовой скорости на торце пассивного заряда меньшей 260 м/сек ударная волна в тротиле затухала. При больших значениях массовой скорости наблюдались разгон ударной волны при ее распространении по заряду и возникновение детонации.

Экспериментальные данные вместе с вычисленными значениями давления p , плотности ρ и удельной внутренней энергии E приведены в таблице.

При ударном сжатии порошка тротила наблюдается аномальный ход его ударной адиабаты, аналогичный полученному ранее в пористых металлах [6—7]. С ростом давления в диапазоне $p < 16$ кбар плотность ударного сжатия уменьшается от плот-

u , км/сек	D , км/сек	p , кбар	ρ/ρ_{00}	$E \cdot 10^9$, $\frac{\text{эрг}}{\text{г}}$	γ
0,110	0,300	0,33	1,58	0,061	3,45
0,197	0,510	1,00	1,63	0,193	3,18
0,262	0,703	1,84	1,60	3,344	3,33
0,355	1,01	3,58	1,55	0,634	3,64
0,462	1,70	7,85	1,38	1,08	5,26
0,560	2,40	13,40	1,30	1,55	6,66
0,600	2,70	16,20	1,29	1,82	6,90
0,750	3,30	24,80	1,29	2,79	6,90
0,855	3,80	32,60	1,29	3,67	6,90
0,957	4,00	38,40	1,31	4,54	6,45
1,130	4,40	49,50	1,34	6,30	5,78
1,220	4,70	57,10	1,35	7,40	5,72
1,380	5,17	71,50	1,36	9,50	5,56