

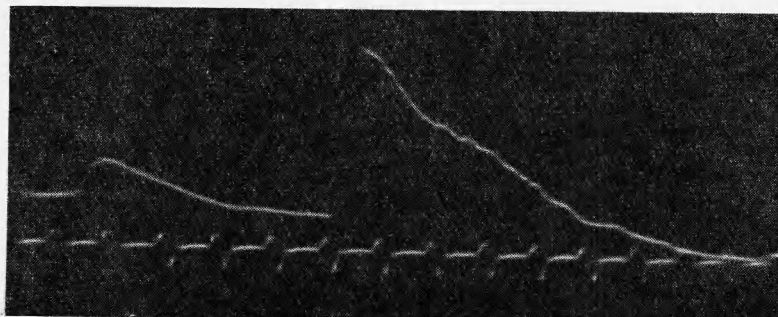
**РОЛЬ ОПЕРЕЖАЮЩЕЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ
В РАСПРОСТРАНЕНИИ МАЛОЙ СКОРОСТИ ДЕТОНАЦИИ
В ЗАРЯДАХ ЖИДКОГО НИТРОГЛИЦЕРИНА**

А. В. Дубовик, И. М. Воскобойников, В. К. Боболев
(Москва)

При объяснении природы низкоскоростных режимов детонации в зарядах жидких взрывчатых веществ наиболее сложным моментом является вопрос инициирования достаточно быстрой взрывной реакции слабой ударной волной. Поскольку подъем температуры на фронте ударной волны с давлением меньше 20—30 кбар в гомогенных веществах, жидких и монокристаллических, слишком мал, то центрами зарождения реакции могут быть лишь различные неоднородности (пузырьки газа, твердые примеси), которые либо постоянно присутствуют в зарядах, либо образуются в ходе распространения самого процесса. В связи со сказанным заслуживает более детального рассмотрения существование впереди низкоскоростного режима детонации в нитроглицерине ударной волны, распространяющейся вдоль стенок оболочки, так как в волне разрежения за ней может происходить нарушение сплошности нитроглицерина [1—3]. Если нарушение сплошности действительно имеет место, то инициирование реакции на фронте малой скорости детонаций в жидком взрывчатом веществе будет происходить так же, как и при детонации с малыми скоростями твердых порошкообразных ВВ.

С целью выявления характера волновых возмущений, распространяющихся по оболочке впереди фронта малой скорости детонации в нитроглицерине, был проведен ряд опытов, описание которых дается ниже.

1. Между двумя параллельными пластинами из плексигласа или металла, расположенными на расстоянии 20 мм, был залит нитроглицерин, распространение малой скорости детонации в котором фотографировалось на фоне ярко освещенного экрана с помощью СФР. Щель прибора была перпендикулярна направлению распространения волны. Для повышения контрастности съемка производилась в поляризованном свете (поляроиды ставились перед прибором и между зарядом и экраном). На рис. 1 впереди детонационного фронта видна серия волн сжатия, выходящих из ограничивающих пластин в нитроглицерин. За ближайшими к детонационному фронту волнами вещество теряет прозрачность вблизи пластин. Число наблюдаемых волн было больше в опытах с пластинами из плексигласа, чем с пластинами из латуни или дюралюминия, что объясняется различием в динамических жесткостях материала и возможностью наблюдения волн сжатия с амплитудой, большей некоторой определенной величины. Наличие впереди детонационного фронта серии волн сжатия связано, по-видимому, с тем, что реакция на фронте детонационной волны протекает не с постоянной скоростью, а в виде после-

*Рис. 1.**Рис. 2.**Рис. 3.*

довательных микровзрывов на нарушениях сплошности. Это особенно ярко проявляется в режиме детонации со скоростью 800—1000 м/сек, запись распространения которого на непрерывной развертке СФР (рис. 2) имеет своеобразную перистую структуру.

2. Используя электромагнитный метод [4], оценим интенсивность ударной волны, входящей в нитроглицерин из стенок оболочки, а также давление на фронте детонационной волны в нитроглицерине, распространяющейся со скоростью 2000 м/сек. В заряд нитроглицерина, залитый в плексигласовый стаканчик длиной 120 мм и диаметром 20 мм при толщине стенок 2 мм, монтируется на противоположном от точки иницирования торце заряда П-образный датчик из алюминиевой фольги толщиной 0,04 мм. Прежде чем регистрируется приход фронта малой скорости детонации, давление на котором около 10 кбар, датчик отмечает прохождение волны сжатия с амплитудой 1,5—2,0 кбар. Между волной сжатия и детонационным фронтом давление падает почти до начального (осциллограмма записи тока с датчика дается на рис. 3).



Рис. 4.

Выполненные при такой постановке опыта измерения, не претендуя на высокую точность, поскольку фронты волн неплоские, позволяют правильно оценить величины давлений.

Электромагнитным методом впереди детонационного фронта отмечается всего лишь одна ударная волна, а не серия, как указывалось в предыдущем пункте, что связано, по-видимому, с быстрым затуханием волн по мере их удаления от детонационного фронта.

3. Оценку давлений при малой скорости детонации в нитроглицерине можно получить в экспериментах с выходом детонационной волны в прозрачную среду (метод аквариума). На рис. 4 представлена фото-развертка сбоку на фоне яркого экрана выхода малой скорости детонации из заряда нитроглицерина, помещенного в стеклянную оболочку $\varnothing 20$ мм, в воду. Видно, что в воде, спустя примерно 10 мксек после вхождения предварительной ударной волны, распространяющейся вдоль оболочки заряда, возникает кавитация, фронт которой идет вслед за ударной волной. Выход из оболочки в воду последующих волновых возмущений мало отражается на состоянии кавитационной зоны. Лишь при выходе на границу раздела нитроглицерин — вода детонационной волны в воде возникает ударная волна с амплитудой 6 кбар, за фронтом которой вода становится вновь прозрачной, так как кавитационные полости схлопываются. Используя акустическое приближение, находим, что давление на фронте малой скорости детонации нитроглицерина равно 10 кбар, т. е. получаем ту же величину, что и в предыдущем пункте электромагнитным методом.

4. Наглядное представление о характере кавитационных явлений, возникающих впереди фронта малой скорости детонации, дают опыты

по возбуждению детонации в тонких (толщиной около 1 мм) слоях нитроглицерина, заключенных между двумя плексигласовыми пластинами, от электрического взрыва медной проволоки \varnothing 0,05 мм. Если энергия взрыва проволоки превосходила некоторую минимальную величину (в условиях опытов $1,8 \pm 0,1$ дж на 1 см длины проволоки), то в нитроглицерине устойчиво распространялась детонация.

С момента взрыва проволоки с энергией, близкой к критической, в нитроглицерине возникает горение, скорость которого за время около 30 мксек возрастает до величины 300 м/сек. Наряду с этим, впереди ускоряющегося фронта горения в ранее однородной жидкости появляются кавитационные полости, размер и число которых возрастают во времени, при сохранении в непосредственной близости от фронта горения небольшой области однородного нитроглицерина. Следует отметить, что скорость горения нитроглицерина в момент перехода в детонацию¹ совпадает с величиной потока продуктов реакции, найденной с помощью электромагнитного метода в установившемся режиме малой скорости детонации (300 м/сек). Подобное описание последовательности явлений при возникновении малой скорости детонации в тонких слоях нитроглицерина дает и Ф. Боуден [3].

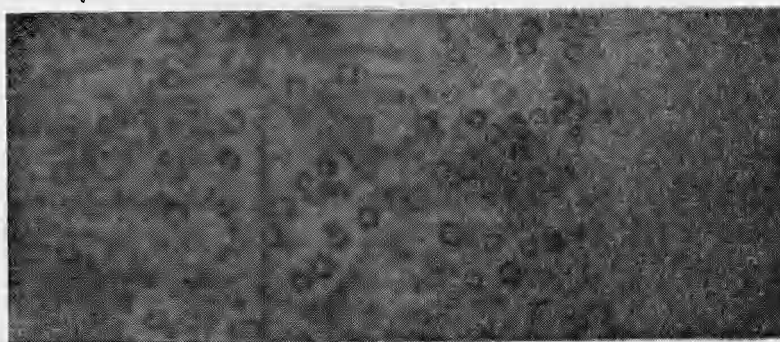


Рис. 5.

Когда энергия взрыва проволоки меньше критической, то детонация не возникает, хотя образование кавитационных полостей удается хорошо проследить. Так, на рис. 5 показано состояние нитроглицерина через 60 мксек после взрыва проволоки. Кавитационные полости выросли за этот период до размеров 0,5 мм. Видимая на фотографии область однородного нитроглицерина примыкает к очагу инициирования.

5. Поскольку нарушение сплошности вещества происходит в волне разрежения, следующей за ударной волной, то весь процесс должен зависеть от прочности и толщины применяющихся оболочек. Чтобы волна, распространяющаяся по оболочке, не слишком быстро затухала по мере удаления от фронта, толщина оболочки должна быть больше некоторой критической. С другой стороны, в слишком толстых и прочных оболочках амплитуда волны разрежения, входящей в нитроглицерин, может оказаться недостаточной, чтобы вызвать многочисленные нарушения сплошности.

Высказанное выше подтверждается следующими опытами:

а) в тонких плексигласовых и медных оболочках с толщиной стенок меньше 0,1 мм детонация нитроглицерина с малой скоростью 2000 м/сек неустойчива;

¹ Малая скорость детонации возникает на границе неоднородного нитроглицерина и далее распространяется с постоянной скоростью.

б) в толстых латунных оболочках малая скорость детонации время от времени обрывается и возникает вновь (рис. 6), тогда как в тонких ее распространение непрерывно;



Рис. 6.

в) при переходе малой скорости детонации из тонких плексигласовых оболочек в оболочки с толщиной стенок более 30 мм детонация нередко обрывается, а если и возникает затем вновь, то с большой задержкой.

Последнее можно объяснить тем, что расстояние между детонационной волной и предшествующей ей ударной в волне разрежения, за которой происходит нарушение сплошности нитроглицерина, при задан-



Рис. 7.

ной толщине оболочки и диаметре заряда, вполне определено. При резком изменении толщины оболочки этот комплекс не успевает перестроиться и впереди детонационного фронта оказывается сплошной нитроглицерин, что приводит к обрыву детонации (рис. 7).

6. С точки зрения изложенного выше определенный интерес представляет исследование детонации зарядов нитроглицерина в тонких целлофановых оболочках со стержнями из различных материалов, вставленных по оси заряда, так как распространение ударной волны по стержню и практическое отсутствие оболочки облегчают нарушение сплошности вещества впереди детонационного фронта. На рис. 8 дается фотограмма свечения сбоку детонации заряда нитроглицерина в целлофановой оболочке, в дальней от точки инициирования половине кото-

рого по оси заряда вставлен алюминиевый стержень. До тех пор, пока детонация не дошла до стержня — ее скорость около 1000 м/сек ; на длине заряда со стержнем она ускоряется до 2000 м/сек . Аналогичные результаты получаются, когда в центр заряда помещаются стержни из других материалов, скорость звука в которых больше 2000 м/сек . Напомним, что в целлофановых оболочках заряды нитроглицерина без стержней не могут детонировать со скоростью 2000 м/сек .



Рис. 8.

Как правило, металлические стержни после опыта сохраняются. На их боковой поверхности имеется большое количество мелких выбоин размером до 1 мм , которые, по-видимому, образуются микровзрывами в местах схлопывания разрывов сплошности, расположенных в нитроглицерине в непосредственном контакте со стержнем при прохождении детонационной волны.

Конкретный механизм инициирования реакции в жидком взрывчатом веществе при схлопывании кавитационных полостей еще недостаточно изучен. Из ряда работ, посвященных этому вопросу, заслуживает внимания недавно опубликованное сообщение Ф. Гибсона [5], в котором было рассмотрено образование микроструй при взаимодействии ударной волны с пузырьками газа и найдена величина скорости микроструи, при ударе которой о стенку сосуда инициируется быстрая взрывная реакция.

Поступила в редакцию
16/V 1966

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. С. Соснова, И. М. Воскобойников, А. В. Дубовик. Докл. АН СССР, 1963, **149**, 3.
2. И. М. Воскобойников, А. В. Дубовик, В. К. Боболев. Докл. АН СССР, 1965, **161**, 5.
3. F. P. Bowden, M. P. McOnie. Nature, 1965, **206**, 4982, 380.
4. А. Н. Дремин, К. К. Шведов, В. А. Веретенников. Сб. «Взрывное дело», № 52/9, Госгеолтехиздат, 1963.
5. R. W. Watson, F. C. Gibson. Nature, 1964, **204**, 4965, 1296.