

О РЕТОНАЦИОННОЙ ВОЛНЕ ПРИ ИНИЦИИРОВАНИИ ДЕТОНАЦИИ ТВЕРДЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ УДАРНЫМИ ВОЛНАМИ

А. Н. Афанасенков

Институт проблем химической физики РАН, 142432 Черноголовка, ilmaslov@mail.ru

Приведен оригинальный фотоснимок ретонационной волны, самопроизвольно возникшей в заряде смеси нитроглицерина с нитратом аммония 20/80 при плотности $0,9 \text{ г/см}^3$ на расстоянии $0,8$ длины заряда и прошедшей назад к месту инициирования половину длины заряда. Скорость прямой волны 2300 м/с , скорость ретонационной волны 1700 м/с . Ретонационная волна зарегистрирована только в одном, уникальном опыте.

Ключевые слова: инициирование, детонация, ретонационная волна, скорость, нитроглицерин, нитрат аммония.

В литературе неоднократно обсуждался вопрос о возникновении ретонационных детонационных волн в твердых взрывчатых веществах (ВВ) (порошкообразных и прессованных) при их инициировании ударными волнами через инертную преграду или воздух. В качестве доказательства обычно приводились следы на фотопленках, получаемые при регистрации свечения продуктов взрыва оптическим методом (с помощью скоростного фоторегистратора) при выходе детонационной волны на боковую поверхность заряда. Типичный снимок показан на рис. 1. В точке A ударная волна входит в заряд ВВ (прессованный гексоген), наблюдается свечение воздуха в порах заряда. В точке B детонация выходит на поверхность заряда с некоторой задержкой τ (расстояние между точками A и B по оси t) и на определенной глубине h (расстояние между точками A и B по оси x). Эти величины зависят как от давления ударной волны (УВ), так и от диаметра заряда. Как правило, с увеличением диаметра заряда и с уменьшением давления инициирующей УВ значения τ и h возрастают, однако вблизи пределов инициирования пропорциональность нарушается [1]. Некоторые авторы использовали зависимость τ от критического давления для определения кинетических параметров распада ВВ. След детонации имеет два участка. Первый направлен (от точки B) к свободному торцу заряда. Его наклон на пленке соответствует скорости детонации исследуемого ВВ. Второй участок следа направлен к преграде, но не доходит до нее. Его-то и связывают со свечением ретонационной волны.

По-видимому, впервые объяснение явле-

ния «ретонационной» волны было дано в [2], где скорость детонации измерялась как на поверхности инициируемого заряда, так и внутри (на оси заряда), для чего по образующей заряда до его центра были просверлены отверстия диаметром 3 мм на расстоянии 10 мм друг от друга. По результатам измерений предложена следующая картина распространения фронта детонации во времени по заряду (рис. 2). Детонация возникает в центре заряда на границе заряд — преграда с задержкой τ и распространяется вглубь заряда. На рис. 2 слева показаны положения фронта волны в разные моменты времени. В момент времени t_4 фронт выходит на боковую поверхность заряда (точка B на рис. 1) и затем «разделяется». Вверх по заряду идет нормальная детонация с примерно постоянной скоростью, а вниз, к пре-

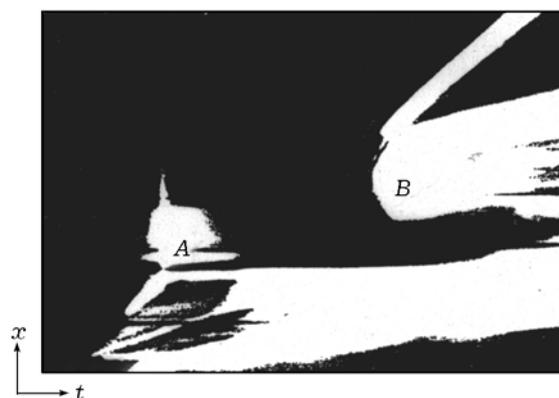


Рис. 1. Типичный снимок возбуждения детонации в заряде твердого ВВ ударной волной

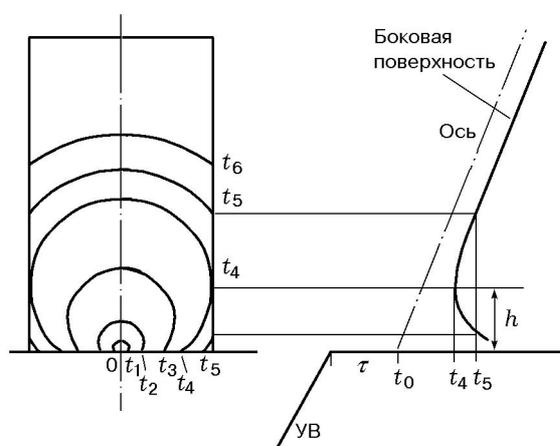


Рис. 2. Схема процесса возбуждения детонации в заряде твердого ВВ ударной волной

граде, — взрывной процесс с переменной скоростью (правая часть рис. 2). Его и назвали ретонационной волной. Видно, что эта волна проходит небольшое расстояние.

Из этого объяснения следует, что параметры h и τ , которые обычно принимались как глубина и задержка возникновения детонации, являются фиктивными. На самом деле, глубины возникновения детонации нет, она равна нулю, а реальная задержка возникновения детонации меньше измеряемой в эксперименте по фотографиям, подобным приведенным на рис. 1, на величину $(t_4 - t_0)$.

Позднее авторы [3] подтвердили это. В многочисленных опытах по измерению массовой скорости внутри заряда электромагнитным методом они не наблюдали никаких ретонационных волн. Авторы [3] считают также, что второй участок следа связан с выходом искривленного фронта детонации на боковую поверхность заряда.

В теоретических моделях развития инициирующей УВ до детонационной образование ретонационных волн в принципе исключается [4, 5]. Иницирующая УВ, поток вещества и детонационная волна движутся всегда в одном направлении: от места инициирования (от преграды) вглубь заряда до свободного торца. При этом считается, что за детонационной волной все вещество выгорает.

Таким образом, если принять, что ретонационная волна существует, надо принять и другое условие: за фронтом первичной инициирующей волны вещество разлагается не пол-

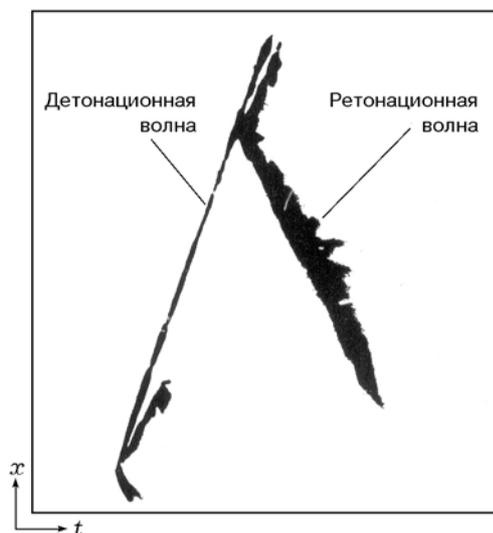


Рис. 3. Ретонационная волна во взрывчатой смеси НГЦ/НА 20/80

ностью, часть его остается неизменной, и по этому непрореагировавшему веществу, собственно, и может распространяться обратная волна. Взрывной процесс, в котором вещество разлагается не полностью, наблюдается в нитроглицерине, порошкообразных и грубодисперсных ВВ (это детонация с малой скоростью или низкоскоростная детонация). Одним из прямых доказательств частичного разложения ВВ в режиме низкоскоростной детонации ($\approx 30\%$) может служить эксперимент [6]. Автор [6] подрывал слабым инициатором сверху вертикально расположенный заряд нитроглицерина (НГЦ) в плексигласовой оболочке, вызывая в нем режим низкоскоростной детонации. Через $20 \div 30$ мкс проводился подрыв мощным инициатором, и вслед за низкоскоростной детонацией распространялась волна нормальной детонации, которая догоняла низкоскоростной фронт и переходила в исходный НГЦ практически без изменения скорости.

Однако при изучении детонации смесей НГЦ с нитратом аммония (НА) в одной смеси мы наблюдали действительно ретонационную волну. Условия проведения опыта следующие. Исследовалась смесь НГЦ/НА 20/80 плотностью $0,9 \text{ г/см}^3$, размер зерна аммиачной селитры $0,16 \div 0,32 \text{ мм}$. Смесь помещали в плексигласовую оболочку диаметром 20 мм и длиной 160 мм, толщина стенок 2 мм. Один торец оболочки заклеивался плексигласовой плас-

тиной толщиной 2 мм, через которую проводилось инициирование смеси зарядом из смеси тротила с NaCl 45/55 диаметром 20 мм, длиной 30 мм и плотностью 1,0 г/см³. Скорость детонации инициатора 2000 м/с. Свечение детонации регистрировалось фоторегистратором ЖФР-2. Фотоснимок опыта приведен на рис. 3. Внизу снимка наблюдается короткий след, направленный к пластине. Далее возникают два следа, направленные от места инициирования к открытому торцу заряда; второй след вскоре обрывается. Скорость детонации, рассчитанная по наклону первого следа, 2300 м/с. На расстоянии, примерно равном 0,8 длины заряда, снова возникает второй след, а также ретонационная волна, которая проходит более половины длины заряда к месту инициирования. Ее скорость ≈ 1700 м/с. Поскольку след ретонационной волны имеет достаточную протяженность и очень ярк, можно предположить, что давление в прямой волне незначительное (не более 10 кбар), так что оболочка не разрушается и сохраняет прозрачность в течение $\approx 0,1$ мс. Возможно, в прямой волне детонирует пленка НГЦ, обволакивающая зерна НА, а в ретонационной волне (широкий размытый след) реагируют НА и остатки НГЦ. Скорость детонации данной смеси в диаметре заряда 40 мм составляет 3500 м/с. Опыт уникальный и больше не воспроизводился.

Отметим также, что двойной след на фотопленках часто регистрируется при детонации порошкообразных твердых ВВ [7, 8].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Cook M. A.** The Science of High Explosives. New York: Reinhold Publ. Corp., 1958.
2. **Persson A.** The transmission of detonation from charges of TNT to LFB-dynamite, nitrolite or TNT // Appl. Sci. Res. 1956. A. V. 6, № 5–6.
3. **Дремин А. Н., Савров С. Д., Трофимов В. С., Шведов К. К.** Детонационные волны в конденсированных средах. М.: Наука, 1970.
4. **Канель Г. И., Уткин А. В., Фортов В. Е.** Уравнения состояния и макрокинетика разложения твердых взрывчатых веществ в ударных и детонационных волнах. Черноголовка, 1989. (Препр. / АН СССР. ОИХФ).
5. **Хасанов Б. А., Аттетков А. В., Борисов А. А.** Ударно-волновое инициирование пористых энергетических материалов и вязкопластическая модель горячих точек // Хим. физика. 1996. Т. 15, № 7. С. 53–123.
6. **Дубовик А. В., Боболев В. К.** Исследование малой скорости детонации в нитроглицерине // Взрывное дело № 63/20. М.: Недра, 1967. С. 275–278.
7. **Дубовик А. В., Денисаев А. А., Боболев В. К.** О влиянии оболочки заряда на стабильность малой скорости детонации в порошкообразном тротиле // Физика горения и взрыва. 1973. Т. 9, № 3. С. 428–432.
8. **Карпухин И. А., Балинец Ю. М., Боболев В. К., Степашкин Б. П.** Инициирование быстрых химических реакций в твердых смесевых ВВ упругой волной в цилиндрической оболочке // Химическая физика процессов горения и взрыва. Детонация. Черноголовка, 1977. С. 83–85.

Поступила в редакцию 29/II 2000 г.