

17 экспериментов при скорости деформирования $\dot{\epsilon} = 1-4 \cdot 10^4$ 1/с равно $11 \cdot 10^8$ Н/м², что близко к значению $13,5 \cdot 10^8$ Н/м², приведенному в [2] для метода откола. Величины прочности меди, полученные откольным методом и собранные в работе [4], заметно выше ($\sigma = 36,5 \cdot 10^8$, $38 \cdot 10^8$ и $78-150 \cdot 10^8$ Н/м² для $\dot{\epsilon} = 10^5$, 10^6 и 10^7 1/с соответственно).

Полученные в настоящей работе результаты показывают, что определение скорости и размеров кусков кумулятивной струи можно рассматривать как еще один метод исследования прочности материалов при высоких скоростях деформирования ($\dot{\epsilon} = 10^4$ 1/с) и высоких концентрациях точечных и линейных дефектов, обусловленных обстоятельствами формирования кумулятивной струи.

Поступила в редакцию
27/VI 1978

ЛИТЕРАТУРА

1. Д. П. Хирт, И. Лоте. Теория дислокаций. М., Атомиздат, 1972.
2. Физика взрыва. Под ред. К. П. Станюковича. М., «Наука», 1975.
3. В. Р. Регель, А. И. Слуцкер, Э. Е. Томашевский. Кинетическая природа прочности твердых тел. М., «Наука», 1974.
4. В. И. Малин. ФГВ, 1973, 9, 2, 282.
5. А. Н. Рыбаков. ПМТФ, 1977, 1, 151.

О ЗАТУХАНИИ УДАРНОЙ ВОЛНЫ В ВОЗДУХЕ ПРИ ВЗРЫВЕ ПЛОСКОГО ЗАРЯДА ВВ В УДАРНОЙ ТРУБЕ

Э. Э. Лин, А. И. Фунтиков
(Москва)

1. Вопрос о затухании плоской ударной волны при взрыве заряда конденсированного ВВ изучался в ряде работ [1-4]. В ближней зоне на расстоянии порядка нескольких десятков толщин заряда закон движения ударной волны получен путем рассмотрения волновых процессов в системе ударная волна — продукты взрыва [1-3]. В удаленной зоне при взрыве в ударной трубе сферического заряда ВВ для нахождения закона затухания использовалось энергетическое подобие [4].

Цель данной работы — экспериментальное изучение затухания фронта ударной волны, а также рассмотрение течения за фронтом при взрыве плоского заряда ВВ в ударной трубе. Известно [1], что при взрывчатом разложении конденсированного ВВ образуется некоторое количество продуктов неполного окисления: СО и Н₂. По мере расширения продуктов взрыва в воздух на контактной поверхности могут происходить реакции окисления СО и Н₂ кислородом воздуха, нагретого в ударной волне. Из-за неустойчивости контактной поверхности, приводящей к турбулентному перемешиванию продуктов взрыва с воздухом [5], реакции окисления могут происходить во всей зоне перемешивания. Сопутствующее этим реакциям энерговыделение будет приводить к местному повышению давления с последующим образованием волн сжатия. Волны сжатия, распространяясь из зоны энерго-

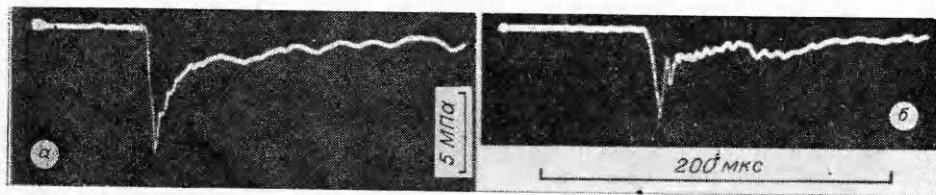


Рис. 1. Осциллограммы давления в ударной волне в воздухе (а) и в азоте (б); $x=0,27$ м, $\Delta=0,5$ мм.

выделения в соседние области, будут приводить к повышению давления в течении и к усилению ударной волны.

Таким образом, закон затухания ударной волны будет определяться двумя конкурирующими тенденциями: уменьшением скорости фронта по мере вовлечения в движение все большей массы воздуха и некоторым усилением ударной волны за счет энергосвободения при окислении СО и Н₂. Для проверки сделанного предположения проведена серия экспериментов по сравнительному изучению течения в ударной волне в воздухе и в инертном газе (азоте). Последний выбран потому, что его начальная плотность примерно одинакова с плотностью воздуха.

2. Ударная труба выполнена в виде полого стального цилиндра с внутренним диаметром 0,09 м и длиной 1÷2 м. Внутри трубы на середине ее длины помещался диск из листового ВВ. Заряд инициировался с помощью тонкой полоски из листового ВВ. Один конец полоски приклеивался к центру диска, другой выводился за пределы трубы и приклеивался к электродетонатору. В опытах с азотом использовался цилиндрический резервуар из полиэтиленовой пленки толщиной 0,1 мм. Резервуар помещался внутри ударной трубы и заполнялся техническим азотом при атмосферном давлении. При этом стенки резервуара плотно прилегали к внутренней поверхности ударной трубы, а заряд наклеивался на его торец.

В опытах регистрировалось давление в проходящей ударной волне пьезоэлектрическими датчиками на основе α -кварца. Датчики устанавливались заподлицо с внутренней поверхностью ударной трубы. Расстояние x от исследуемого сечения до заряда равнялось 0,27 и 0,51 м, толщина Δ листа ВВ — 0,5 и 1 мм.

Проводилась также фоторегистрация свечения ударной волны в воздухе в прозрачной трубе из оргстекла. Для этого использовался прибор СФР в режиме щелевого фотохронографа. В этих опытах измерялось время прихода и скорость фронта ударной волны.

3. На рис. 1, а, б представлены осциллограммы давления в ударной волне соответственно в воздухе и в азоте. Зависимости давления p от времени t в исследуемых сечениях ударной трубы приведены на рис. 2. При построении зависимости $p(t)$ давление на фронте ударной волны вычислялось по измеренной скорости фронта, так как в [6] показано, что измерения давления на фронте с помощью пьезодатчика неточны из-за возбуждения высокочастотных колебаний пьезоэлемента.

Из рис. 2 видно, что время прихода в данное сечение фронта ударной волны в азоте примерно в 1,2—1,4 больше, чем в воздухе. Соответственно давление на фронте ударной волны в воздухе примерно в 1,5—2 раза больше, чем в азоте. В течении за фронтом при $x=0,27$ м и $\Delta=0,5$ мм; $x=0,51$ м и $\Delta=0,5$ и 1 мм давление в воздухе также несколько больше.

4. Представленные результаты свидетельствуют о том, что при одинаковых начальных условиях ударная волна в воздухе более интенсивна, чем в азоте. Причиной этого усиления, по-видимому, является энергосвободение, сопутствующее реакциям окисления продуктов взры-

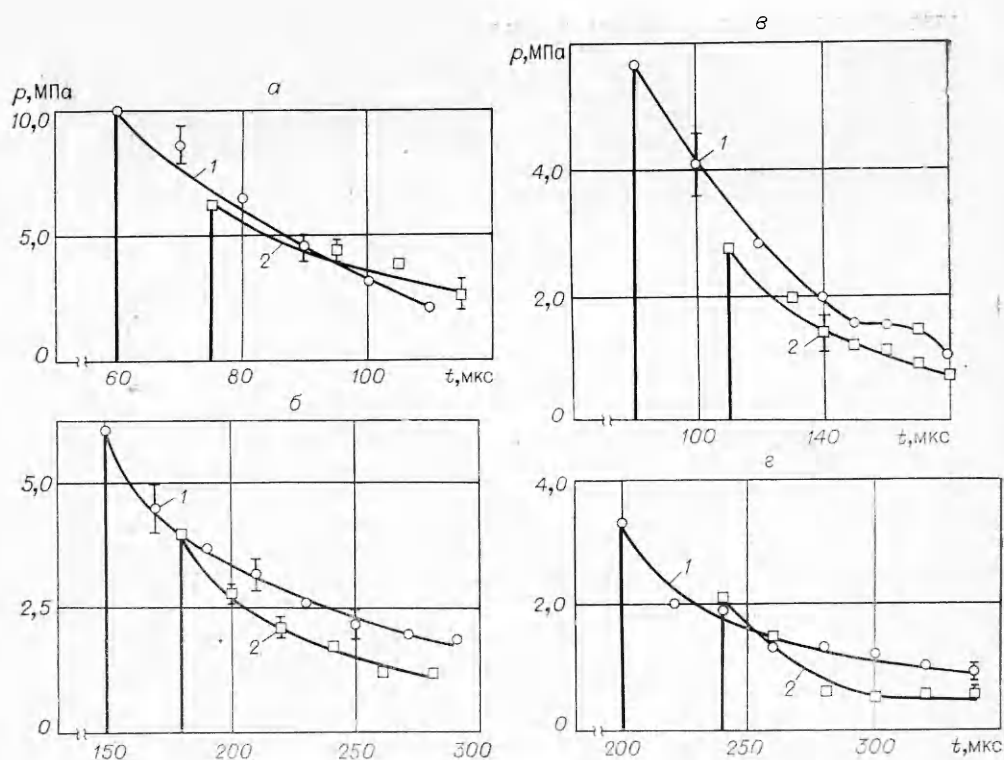
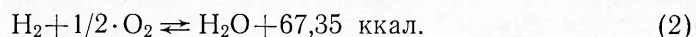
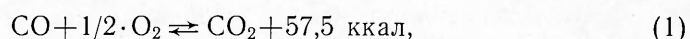


Рис. 2. Зависимость давления от времени в проходящей ударной волне.
 а) $x=0,27$ м, $\Delta=1$ мм; б) $x=0,51$ м, $\Delta=1$ мм; в) $x=0,27$ м, $\Delta=0,5$ мм; г) $x=0,51$ м, $\Delta=0,5$ мм. 1 — воздух; 2 — азот.

ва в зоне перемешивания с горячим воздухом. Рассмотрим возможные реакции:



В начальной стадии расширения при высоких давлениях, согласно принципу Ле-Шателье, происходит смещение равновесия между продуктами реакции в направлении уменьшения объема системы, т. е. в сторону образования высших окислов.

По мере дальнейшего расширения толщина зоны перемешивания увеличивается и в реакции окисления могут вступать новые порции продуктов взрыва. В принципе этот процесс может протекать до их полного догорания, поскольку температура ударно-сжатого воздуха достаточно высока. Так, при $x/\Delta \approx 500$ скорость фронта ударной волны равна $2,26 \cdot 10^3$ м/с, что соответствует температуре 2400 К [1].

При этом условия для протекания реакций (1) и (2) примерно такие же, как и в случае газовой детонации, и вероятность их завершения высока [7].

Таким образом, распространение ударной волны в воздухе при взрыве заряда конденсированного ВВ может сопровождаться энерговыделением в зоне перемешивания.

По-видимому, это энерговыделение и есть причина наблюдаемого усиления ударной волны.

Поступила в редакцию
5/X 1978

ЛИТЕРАТУРА

1. Ф. А. Баум, Л. П. Орленко и др.— В сб.: Физика взрыва. М., «Наука», 1975.
2. О. С. Попель, О. А. Синкевич, А. Л. Шевченко. ФГВ, 1977, 13, 6, 936.
3. Дафф и Блэкуэлл. ПНИ, 1966, 37, 5, 39.
4. Ю. Н. Рябинин, В. Н. Родионов, Ю. С. Вахрамеев.— В сб.: Физика взрыва, № 5, 1956.
5. С. З. Беленький, Е. С. Фрадкин. Тр. ФИАН, т. 29, 1965.
6. В. В. Адушкин, А. И. Коротков. ПМТФ, 1961, 5, 119.
7. Б. Льюис, Г. Эльбе. Горение, пламя и взрывы в газах. М., «Мир», 1968.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗРЫВЧАТОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ СОСТАВА ТГ 50/50 ЗА ФРОНТОМ НЕСТАЦИОНАРНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ

*Ю. В. Батьков, С. А. Новиков,
А. П. Погорелов, В. А. Симицын
(Москва)*

Исследованиям условий возбуждения детонации взрывчатых веществ (ВВ) при ударе уделяется большое внимание (см., например, [1—3]). Многие вопросы возбуждения взрыва при механических воздействиях остаются еще не решенными. В работах [4, 5] изучался процесс возбуждения детонации в ВВ при воздействии интенсивных ударных волн (УВ), для чего измерялись параметры УВ, распространяющихся по ВВ [1—5], профиль давления за фронтом УВ был близок к прямоугольному, т. е. волны были стационарными. В работах [6, 7] детонация в ВВ (гомогенных и гетерогенных) возбуждалась нестационарными УВ малой длительности. Получена зависимость давления на фронте волны, при котором происходит возбуждение детонации ($p_{\text{Фр}}$), от характерного времени действия импульса давления (τ).

Так, в [7] экспериментальная кривая $p_{\text{Фр}}=f(\tau)$, полученная в опытах с составом ТГ 50/50, является границей двух областей. Ниже этой кривой детонация не возбуждается, выше — происходит частичное возбуждение детонации, при котором детонирует лишь часть испытуемого заряда ВВ. Очевидно, что выше этой зависимости должна проходить граница, отделяющая область частичной детонации от полной.

Представляется интересным исследование процесса взрывчатого превращения за фронтом ударной волны в области частичной детонации заряда ВВ. С этой целью в настоящей работе проведено изучение профиля давления в указанной переходной области возбуждения детонации за фронтом нестационарных УВ, возбуждаемых ударом тонкой стальной пластинкой (1,6 мм), в составе ТГ 50/50. Характерное время импульса давления равнялось 7 мкс, величина $p_{\text{Фр}}$, выше которой в [7] зафиксирована частичная детонация при данной длительности импульса заряда, равняется 12 кбар. Исследованный в работе интервал давлений составлял 8÷34 кбар. Опыты ставились аналогично [7]. Пластина-ударник разгонялась скользящей детонацией тонкого слоя ВВ. Скорость соударения изменялась в диапазоне 200—700 м/с. Образцы готовились размером 75×75×28 мм³.

В каждом опыте с помощью датчиков 1—4 (рис. 1) (плоская прямоугольная решетка площадью 6×7 мм² из манганиновой проволоки ПЭММ диаметром 0,05 мм) регистрировалось изменение давления за фронтом УВ в четырех сечениях образца (на расстоянии 4, 8, 14 и