

времени воздействия потока с повышенными параметрами на частицу (из эксперимента $t \sim 30$ мкс), найдем скорость, до которой разгонится частица за это время, и путь разгона. Скорость частицы при $\alpha = 1,15$ ($\rho_r = 10^4$ кг/м³, $d_r = 40$ мкм, $\rho = 3,2$ кг/м³, $u_{нд} = 2014$ м/с, $\tau_0 = 56$ мкс): $u_r = 698$ м/с, путь разгона $x = x_r - x_0 = 1$ см; частица из материала той же плотности диаметром 400 мкм имеет $u_r = 179$ м/с, $x_r = 1,5$ мм. Таким образом, результаты оценочного расчета хорошо согласуются с экспериментом.

Выводы. Анализ результатов экспериментов показывает, что при квазирегулярном отражении детонации Чепмена — Жуге от стенок конуса максимальное пережатие имеет величину 12—15%, если длина формирующей секции превышает 6 калибров независимо от угла клина и диаметров узкой и широкой частей канала. Скорость твердых частиц, разгоняемых продуктами детонации за пережатой волной, в 3—4 раза выше скорости таких же частиц, разгоняемых продуктами за волной Чепмена — Жуге.

*Поступила в редакцию 5/XI 1984,
после доработки — 27/II 1985*

ЛИТЕРАТУРА

1. Т. П. Гавриленко, Ю. А. Николаев, М. Е. Топчий. ФГВ, 1979, 15, 5.
2. Т. П. Гавриленко, Е. С. Прохоров. — В кн.: Химическая физика процессов горения и взрыва. Детонация. Черноголовка, 1980.
3. Т. П. Гавриленко, Е. С. Прохоров. ФГВ, 1981, 17, 6.
4. А. А. Васильев, Ю. А. Николаев. ФГВ, 1976, 12, 5.
5. А. А. Васильев, Ю. А. Николаев, В. Ю. Ульяницкий. ФГВ, 1977, 13, 3.
6. В. М. Бойко, Т. П. Гавриленко, В. В. Григорьев и др. ФГВ, 1983, 19, 3.
7. Ю. А. Николаев, М. Е. Топчий. ФГВ, 1977, 13, 3.
8. С. А. Ждан, Е. С. Прохоров. ФГВ, 1984, 20, 5.
9. С. Б. Хендерсон. РТК, 1976, 14, 6.

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ НАГРУЖЕНИЯ НА ДЛИНУ ПРЕДЕТОНАЦИОННОГО УЧАСТКА В ТГ 50/50

*С. А. Бордзиловский, С. М. Караханов
(Новосибирск)*

Основные параметры, определяющие возможность возбуждения детонации в конденсированных гетерогенных ВВ, это давление p в иницилирующей ударной волне (УВ) и длительность импульса давления τ . Зависимости $p_{кр}$ от τ [1] установлены для различных ВВ в широких диапазонах изменения этих величин. В то же время влияние скорости нарастания и спада давления на процесс иницирования исследовано недостаточно. В этом направлении имеются лишь отдельные работы. В одних [2, 3] рассматривалось влияние скорости нарастания давления в волне сжатия, в других [4, 5] — действие нескольких последовательно идущих УВ на процесс иницирования конденсированных ВВ.

В [4] обнаружено, что если максимальное давление в пластическом ВВ РВХ-9404 достигалось в результате прохождения двух УВ, а не в одном скачке, то ВВ оказывалось менее чувствительным по отношению к действию второй более мощной УВ. Иницирование детонации в пресованном тротиле системой из двух или трех УВ различной длительности и амплитуды показало [5], что предварительное прохождение слабых УВ приводит к уменьшению скорости разложения образцов. На возможное влияние УВ, проходящей по составу В, на его чувствительность при возбуждении детонации кумулятивной струей указано в [6].

Учет этого явления может быть в принципе необходимым и при постановке тестовых экспериментов, например таких, как иницирование

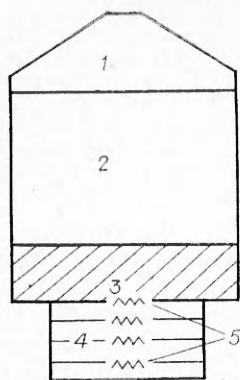


Рис. 1. Схема экспериментальной сборки.

1 — генератор плоской волны; 2 — промежуточное ВВ; 3 — аттенюатор; 4 — образец; 5 — манганиновые датчики.

ударом пластины, так как при полете пластина сжимает слой газа, вызывает появление УВ в образце и десенсибилизацию тонкого слоя ВВ до удара пластины [7].

Сравнение результатов по инициированию РВХ-9404 УВ и волнами сжатия с временем нарастания давления 0,3 и 0,8 мкс показало, что по мере уменьшения скорости нарастания давления до 64 ГПа/мкс скорость разложения ВВ на переходном участке падает [2]. Из численного расчета следовало, что этот эффект можно объяснить понижением температуры горячих точек почти в 3 раза при переходе от ударного сжатия к плавному.

В настоящей работе исследовалось влияние скорости нагружения сплава ТГ 50/50 на длину преддетонационного участка. Сопоставлялись профили давления на различных расстояниях от плоскости инициирования при воздействии на образец УВ, волны сжатия или двух последовательно идущих УВ.

Постановка экспериментов

Профили давления $p(h, t)$ (h — лагранжева координата датчика, t — время) регистрировали манганиновыми датчиками, конструктивные особенности которых указаны в [8]. Датчики помещали между пластинами сплава ТГ 50/50 плотностью 1,69 г/см³ и размером 80×80 мм. Толщина фторопластовой изоляции менялась от 0,1 мм с каждой стороны на первом датчике до 0,25 — на четвертом. Генератор плоской волны и шашка промежуточного ВВ (диаметр 120, высота 80 мм) создавали УВ в аттенюаторе (рис. 1). В зависимости от комбинации материалов в аттенюаторе в образец входила одна или две УВ. Аттенюатор состоял из слоя бензина и медной пластины (15 мм) в случае одной УВ. Для получения двух УВ использовали набор пластин: ПММА (19 мм), сталь (10 мм) и пенопласт плотностью 0,115 г/см³ (19 мм). Материалы подбирались так, чтобы амплитуды одиночной p_0 и второй УВ p_1 при двухволновом нагружении были максимально близки, а давление в первой УВ p_1 не вызывало заметного разложения ВВ. Промежуточная шашка в этих опытах изготовлена из ТНТ.

В тех экспериментах, где сопоставлялось воздействие УВ и волны сжатия, в качестве промежуточного ВВ использовали баратол 70/30. Аттенюатор состоял из парафина (20 мм) и меди (10 мм). Для трансформации УВ в волну сжатия между аттенюатором и образцом устанавливали боросиликатное стекло толщиной 26 мм. Как известно [9, 10], вследствие характерной зависимости сжимаемости таких стекол от давления при движении УВ по ним ее фронт размывается на величину, зависящую от расстояния, пройденного по стеклу.

Результаты и обсуждение

Длину преддетонационного участка L_0 при p_0 определяют как расстояние от плоскости инициирования до точки, где проходит резкое ускорение УВ, после чего ее скорость лишь незначительно отличается от стационарной [11]. В данной работе регистрировались профили давления на разных глубинах, и за L_0 принималось расстояние, на котором регистрируемое давление в инициирующей волне достигало величины, близкой к давлению Чепмена — Жуге для стационарной детонации в ТГ 50/50.

Профили давления, зарегистрированные на преддетонационном уча-

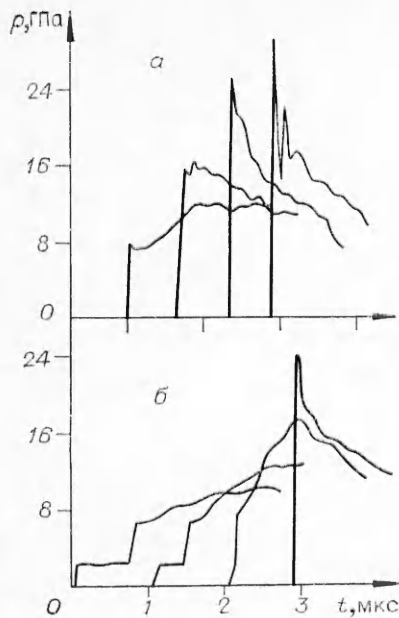


Рис. 2. Зависимости $p(h, t)$ (положение датчиков $h = 0, 3, 6, 10$ мм).

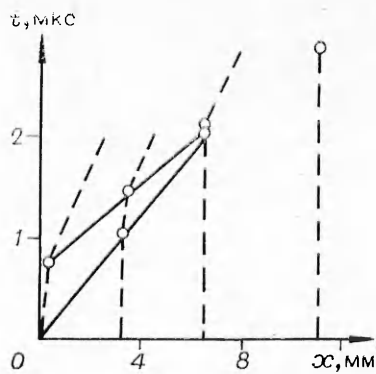


Рис. 3. $x-t$ -диаграмма эксперимента с двумя волнами.

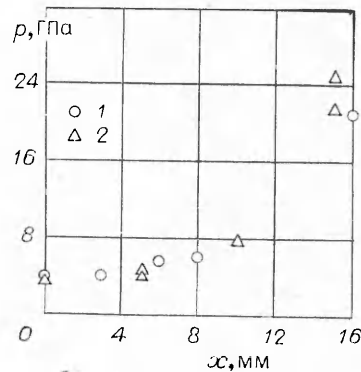


Рис. 4. Зависимость давления на фронте от расстояния при инициировании волной сжатия (1) и УВ (2).

стке, сопоставлены на рис. 2. При инициировании одиночной УВ с $p_0 = 7,2$ ГПа (рис. 2, а) на глубине 3 мм ее амплитуда на фронте достигает 16 ГПа, а к $h = 6$ мм формируется детонационная волна с давлением в пике, равным, по меньшей мере, $p_{ч-ж}$ в стационарной волне. Таким образом, при данных условиях нагружения $L_0 \approx 6$ мм, что хорошо коррелирует с данными для состава В, у которого при этом давлении $L_0 = 6,5$ мм [12]. Средняя скорость на участке между третьим и четвертым датчиком $\bar{D} = 7,5$ км/с, что также подтверждает правильность оценки длины преддетонационного участка.

В случае нагружения двумя волнами (рис. 2, б) первая с $p_1 = 2,3$ ГПа входит в образец на 0,75 мкс раньше второй, в которой $p_2 = 6,7$ ГПа. По мере движения по образцу вторая УВ догоняет первую, и при $h = 6$ мм на датчике регистрируется практически один скачок; $x-t$ -диаграмма этого эксперимента показана на рис. 3. Точки соответствуют приходу первой и второй волн на датчики, сплошные линии построены в предположении, что вторичная адиабата сплава ТГ 50/50 на $p-u$ -плоскости совпадает с первичной, которая взята в виде [13]

$$D = 2,49 + 1,99u \text{ (км/с)}.$$

Как видно из рис. 3, третий датчик расположен в конце участка образца, по которому проходили две УВ. При движении по этой зоне амплитуда фронта второй волны остается постоянной. После образования одной УВ происходит быстрый рост давления на фронте на участке между $h = 6$ и 10 мм. К моменту выхода детонационной волны на четвертый датчик ($h = 10$ мм) ее параметры почти совпадают с регистрируемыми при $h = 6$ мм в одиночной волне, поэтому координата четвертого датчика принималась за длину преддетонационного участка L_1 для этого способа нагружения.

В опыте с двухволновой конфигурацией p_2 на 0,5 ГПа меньше, чем p_0 в одиночной волне, что для одиночной волны с $p_0 = 6,7$ ГПа увеличивает L_0 на 0,6 мм [12]. С учетом этой поправки сравнение двух типов экспериментов показывает, что при двухволновом инициировании L_1 на 3,5 мм (т. е. >50%) больше L_0 . Такое увеличение длины преддетонационного участка происходит при уменьшении p_0 в одиночной волне до 5,4 ГПа. Приведенная выше величина является оценкой L_1 снизу, так как она получена в условиях, когда нагружению слабой УВ подвергалась только часть образца от поверхности нагружения до $h = 6$ мм. Очевидно, что L_1 возрастает, если увеличится начальный интервал времени между входом первой и второй волны в образец.

Рост длины преддетонационного участка есть следствие того, что после прохождения слабой УВ давление за фронтом второй волны нарастает медленнее и, следовательно, скорость разложения ВВ ниже, чем при действии одной волны. Возможные факторы, приводящие к понижению чувствительности предварительно сжатого слоя пластического ВВ, рассматривались в [4]. Среди наиболее вероятных причин отмечались следующие. При воздействии первой УВ на неоднородности, присутствующие в ВВ, появляются горячие точки с частичной химической реакцией. Затем происходит их дезактивация в результате рассеивания тепла из этих очагов в окружающее ВВ, которое в результате становится более однородным и, значит, менее чувствительным к действию второй УВ. Эти предположения подтверждаются результатами работы [14], в которой численно моделировался разогрев микронеоднородностей ВВ из-за их вязко-пластической деформации за фронтом УВ. Чем меньше амплитуда УВ, тем больше должна быть величина пор для возбуждения самоподдерживающейся реакции. При уменьшении начального размера пор падает скорость роста температуры их поверхности и увеличивается время задержки воспламенения. Наконец, вклад очень мелких пор в инициирование может быть неэффективным вследствие того, что они меньше минимально необходимого размера очага для теплового взрыва.

Результаты проведенных экспериментов согласуются с этими предположениями. Первая УВ вызывает слабую реакцию в сплаве ТГ 50/50. Это следует из вида осциллограмм, приведенных на рис. 2, б, где давление за фронтом первой УВ практически постоянно, и результатов [15], а также из данных [12], согласно которым в составе В при $p_0 = 2,3$ ГПа $L_0 = 36$ мм. Увеличение плотности образца в этой волне достигает 12%, поэтому ее действие прежде всего приводит к уменьшению размеров макронеоднородностей и к возрастанию плотности зерен ВВ. Отметим также, что если конечное давление достигается в результате прохождения нескольких УВ, а не в одной, то снижаются температуры разогрева ВВ в целом и горячих точек.

Во второй серии экспериментов определялось влияние падения скорости нарастания давления на длину преддетонационного участка. В плоскости нагружения время нарастания в волне сжатия до 3,8 ГПа составляло 0,5 мкс. На расстоянии 3 мм от поверхности нагружения время нарастания не превышает 0,1 мкс, и волна сжатия трансформируется в ударную. Зависимость давления на фронте волны от пройденного расстояния $p_{фр}(x)$ приведена на рис. 4. В пределах экспериментального разброса не обнаружено заметного отличия в длинах преддетонационных участков при инициировании УВ и волной сжатия с указанными параметрами. При $p_0 = 3,8$ ГПа $L_0 = 17$ мм. Опрокидывание волны сжатия на первых 3 мм образца приводит к тому, что зона, охваченная плавным сжатием, мала по сравнению со всем преддетонационным участком, и ее влияние на изменение длины этого участка оказывается слабым.

Из результатов следует, что сжатие сплава ТГ 50/50 слабой УВ повышает его чувствительность и увеличивает длину преддетонационного участка.

Поступила в редакцию 28/XII 1984

ЛИТЕРАТУРА

1. F. E. Walker, R. J. Wasley. Explosivstoffe, 1969, 1, 9.
2. M. E. Kipp, J. W. Nunziato, R. E. Setchell e. a. Proc. Seventh Symp. on Det., Dahlgren, Virginia, USA, 1981.
3. Г. С. Доронин, Е. И. Ермолович, А. Н. Работинский. I Всесоюзн. симп. по макрокинетики и хим. газодинамике. Тез. докл., т. 1, ч. 1. Черногловка, 1984.
4. A. W. Campbell, W. C. Davis, J. B. Ramsay. Phys. of Fluids, 1961, 4, 4, 511.
5. V. M. Boyle, D. L. Pilarski. Proc. Seventh Symp. on Det., Dahlgren, Virginia, USA, 1981.
6. M. C. Chick, D. J. Hatt. Ibid.
7. J. G. Harlan, J. K. Rice, J. W. Rogers, Jr. Ibid.
8. В. Ф. Лобанов, С. М. Караханов, С. А. Бордзиловский. ФГВ, 1982, 18, 3, 90.
9. Г. И. Канель, А. М. Молодец. ЖЭТФ, 1976, 46, 2, 398.
10. M. Germain-Lacour, M. de Gliniasty. Shock Waves in condensed matter.— 1981. N. Y.: AIP, 1982.
11. J. B. Ramsay, A. Popolato. Proc. Fourth Symp. on Det. ACR-126. Washington, USA, 1965.
12. Ch. L. Mader. Numerical modeling of detonations. University of California Press, USA, 1979.
13. B. M. Dobratz. Properties of Chemical Explosives and Explosive Simulants. Lawrence Livermore Laboratory, USA, 1981.
14. В. А. Кhasainov, А. А. Borisov, В. S. Ermolaev e. a. Proc. Seventh Symp. on Det., Dahlgren, Virginia, USA, 1981.
15. Ю. В. Батьков, С. А. Новиков, А. П. Погорелов и др. ФГВ, 1979, 15, 5, 139.

ДИНАМИКА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИНИЦИИРУЮЩЕЙ ВОЛНЫ В ТГ 50/50

В. Ф. Лобанов

(Новосибирск)

Анализ взаимосвязи основных параметров — давления p , удельного объема v и скорости энерговыделения — играет важную роль в исследовании зоны реакции детонационной волны. Из законов сохранения при самых общих предположениях об уравнении состояния связь между объемной скоростью энерговыделения \dot{P} и другими параметрами потока за ударной волной ($\dot{U}B$) устанавливается соотношением

$$\dot{P} = \frac{dp}{dt} + \left(\frac{c}{v}\right)^2 \frac{dv}{dt}, \quad (1)$$

где c — замороженная скорость звука, а производные по времени t относятся к лагранжеевым частицам. Согласно определению в [2], \dot{P} — обобщенная кинетическая характеристика, устанавливающая связь между скоростью изменения давления с энерговыделением в среде при $v = \text{const}$.

Дифференциальный характер зависимости (1) удобен для количественного анализа динамики взаимного влияния основных параметров. Современное состояние экспериментальных методик позволяет, в принципе, определять все параметры в (1), а следовательно, и \dot{P} , как функцию этих параметров и удельной внутренней энергии E . Практическое определение \dot{P} для ТНТ на фронте инициирующей $\dot{U}B$ проводилось в [1, 2]. В этих работах отмечается немонотонный характер зависимостей $\dot{P}(p_\phi)$, где p_ϕ — давление на фронте $\dot{U}B$. В литературе нет данных о поведении \dot{P} за фронтом $\dot{U}B$, поэтому представляет интерес исследовать поведение этой характеристики во всей зоне реакции при различной интенсивности $\dot{U}B$ в переходных процессах инициирования.

В настоящей работе \dot{P} определялась по результатам численного моделирования инициирования ТГ 50/50. В расчетах использовался так называемый макрокинетический способ описания энерговыделения.