

Таблица 2

Свариваемые материалы	h , мм	δ_0 , мм	D , м/с	α , рад	γ , рад	v_K , м/с	$\sigma_{\text{раз}}$, МПа	Место разрушения
M1+ВОМ	1	8	1700	0	0,23	1700	24	M1
M1+ВОМ	1	10	1780	0	0,27	1780	26	M1
Ст.3+X18H10T	8	40	2180	0	0,25	2180	36	Ст.3
Ст.3+X18H10T	8	40	2180	0,087	0,337	1620	42	Ст.3

Таким образом, результаты работы показали, что угленит Э-6 можно использовать при сварке материалов взрывом. Получена экспериментальная зависимость $D = f(\delta_0)$ для плоских зарядов. Показано, что максимум скорости детонации угленита Э-6 при $\rho_0 = 1,1 \div 1,15 \text{ г/см}^3$ и $\delta_0 > 30$ практически не зависит от увеличения δ_0 и стремится к 2200 м/с. Постоянство скорости детонации с ростом $\delta_0 > 30$ мм является большим преимуществом угленита Э-6 перед насыпными аммиачно-селитренными ВВ. В заключение автор выражает благодарность В. А. Симонову за обсуждение проведенных исследований.

Поступила в редакцию 9/VII 1982

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Дерibas. Физика упрочнения и сварки взрывом. Новосибирск: Наука, 1980.
2. В. М. Кудинов, А. Я. Коротеев. Сварка взрывом в металлургии. М.: Металлургия, 1978.
3. В. А. Симонов. ФГВ, 1979, 15, 6, 118.
4. А. А. Дерibas, В. М. Кудинов, Ф. И. Матвеев и др. ФГВ, 1967, 3, 1, 111.
5. В. И. Лысак, В. С. Седых, Ю. П. Трыков. Сварочное производство, 1979, 3, 7.

ОСОБЕННОСТИ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ДЕТОНАЦИИ В УДЛИНЕННЫХ ЗАРЯДАХ

В. А. Даниленко, В. М. Кудинов
(Киев)

К настоящему времени достаточно подробно теоретически и экспериментально изучены вопросы устойчивости детонационных волн (ДВ) в газах [1—7]. Показано, что ДВ во всех исследованных смесях распространяются вдали от пределов в многофронтном (пульсирующем) режиме, а вблизи пределов — в спиновом режиме. Образование пульсирующих и спиновых режимов в газах происходит в момент возникновения детонации.

Изучение вопросов устойчивости детонации конденсированных сред находится в начальной стадии [8—15]. В данной работе приводятся некоторые экспериментальные результаты исследования особенностей потери устойчивости детонационных волн в удлиненных зарядах гетерогенных конденсированных сред различных классов. Составы используемых веществ, а также основные методики исследования приведены в [13—15]. Детонация инициировалась несколькими способами: 1) плосковолновыми генераторами ударных волн, отделенными от основного заряда инертными преградами, в качестве которых использовались полированные стальные и медные диски толщиной $\delta = 3$ мм, водные преграды ($\delta = 50$ мм), а также преграды из стальной дроби и кварцита ($\delta = 50$ мм); 2) плоскими, сферическими и цилиндрическими зарядами инициирующего ВВ, подрываемыми в непосредственном контакте с ВВ основного заряда. Исследовалось влияние режимов инициирования (режимы пересжатой, недосжатой, нормальной детонации), а также составов ве-

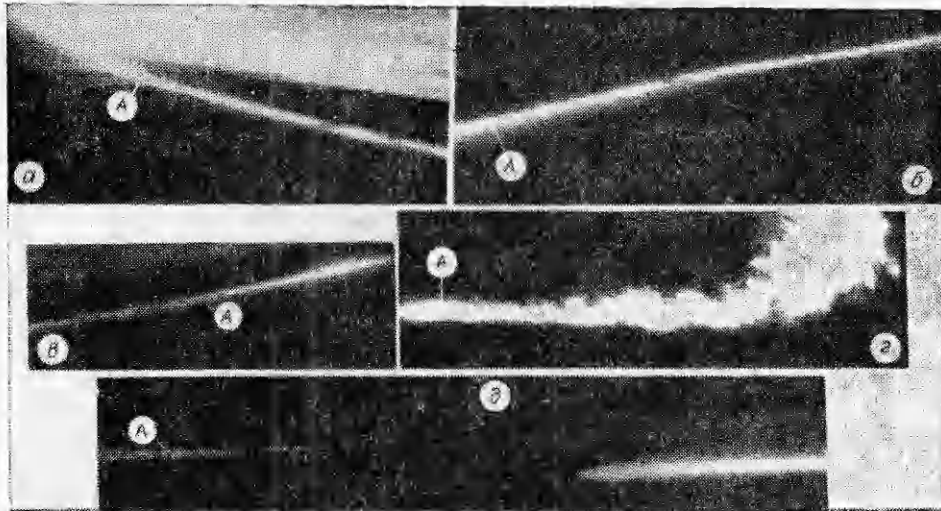


Рис. 1. Фоторегистрограммы распространения детонационных волн в стадии инициирования в смеси водонасыщенного гранулированного твердого ВВ с твердой инертной добавкой различного диаметра d' . Диаметр заряда 220 мм, материал оболочки — полиэтилен.

$a - e$) инициирование подрывом плоского заряда ВВ, находящегося в контакте с ВВ основного заряда; d) инициирование плосковолновым генератором ударных волн через водный промежуток. Режим инициирования: a, e) пересжатая, b) недосжатая, e, d) нормальная детонация.
 $a - e$) $d' = 3,5$ мм, $A - l_1 = 200$ мм; e) $d' = 1,5$ мм, $A - l_1 = 200$ мм; d) $d' = 1,5$ мм, $A - l_1 = 50$ мм.

ществ основного заряда на длину потери устойчивости детонационных волн. Длины зарядов l выбирались из условия $l > l_{ст}$, где $l_{ст}$ — длина выхода на стационарный и устойчивый режим. Впервые величина $l_{ст}$ определена в работе [16] при исследовании детонации пористых сред ($l_{ст} = 3,5d$, где d — диаметр заряда).

В следующих после работы [16] экспериментальных исследованиях многочисленных авторов традиционным необходимым и достаточным критерием стационарности и устойчивости детонации всех конденсированных веществ в зарядах произвольной длины ($l > l_{ст}$) стало служить условие стационарности и устойчивости детонации на длине $l_{ст} = 3,5d$. Из критерия следует, что если детонационная волна стационарна и устойчива на расстоянии от места инициирования $l_1 \leq 3,5d$, то она будет стационарной и устойчивой и на любом расстоянии от места инициирования, удовлетворяющего условию $l_2 > l_1$. Необходимо отметить, что правомерность применения условия стационарности и устойчивости, полученного экспериментальным путем при исследовании детонации ограниченного числа пористых веществ [16], в случае детонации всех конденсированных веществ в зарядах произвольной длины нуждается в экспериментальном и теоретическом обосновании.



Рис. 2. Фоторегистрограмма распространения детонационной волны в суспензионном ВВ. Диаметр заряда 180 мм. Материал оболочки заряда — полиэтилен. Инициирование в режиме нормальной детонации плосковолновым генератором ударных волн; $A - l_2 = 2000$ мм.

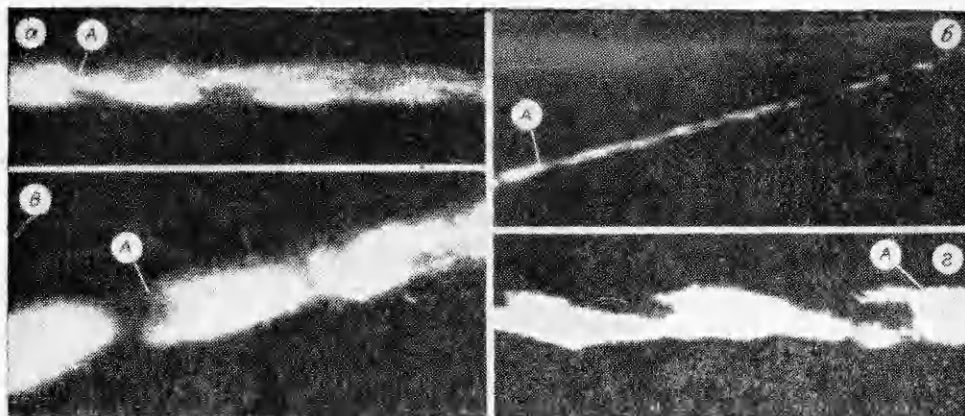


Рис. 3. Фоторегистрограммы распространения детонационных волн после стадии инициирования в смеси водонаполненного твердого ВВ с твердой инертной добавкой различного диаметра. Диаметр заряда 220 мм, материал оболочки заряда — полиэтилен.

Режимы инициирования: а, б) нормальная, в, г) пересжатая детонация.
 а) $d'=3,5$ мм, $l_2=2200$ мм; б) $d'=2,0$ мм, $l_2=1500$ мм; в) $d'=3,5$ мм, $A-l=2200$ мм; г) $d'=-1,5$ мм, $A-l_2=1800$ мм.

Некоторые результаты экспериментов приведены на рис. 1—5. Из представленных результатов следует, что на расстояниях от места инициирования, удовлетворяющих условию стационарности и устойчивости, фиксируются детонационные волны со стационарным фронтом (см. рис. 1, 2). На расстояниях l_2 , превышающих величины, требуемые условием стационарности и устойчивости, из детонационных волн со стационарным фронтом образуются волны с пульсирующим фронтом (см. рис. 2, 3). В процессе образования детонационных волн с пульсирующим фронтом среднее значение скорости детонации остается постоянным.

Для подтверждения того, что пульсации свечения на фоторегистрограммах связаны с пульсациями фронта детонации в самом заряде, а не с поверхностными явлениями, выполнены измерения частоты пульсаций фронта при помощи следовых методик, а также фоторегистрацией и реостатным методом. На рис. 4, а, б приведены фотографии отожженных тонкостенных медных трубок после деформации их в детонационной волне с пульсирующим фронтом (фоторегистрограммы детонации приведены на рис. 3, г). Трубки помещались параллельно оси заряда на различных расстояниях от оси. На трубках фиксируются спиральные следы, оставляемые пульсирующей детонационной волной. Результаты обработки следовых поверхностей трубок, а также фоторегистрограмм и данных измерений реостатным методом показывают, что частота пульсаций фронта детонационной волны во всех исследованных веществах неодинакова по диаметру заряда. На оси заряда частота пульсаций фронта меньше, чем у оболочки заряда. В том случае, когда фоторегистрограммы фиксируют однородное (не прерывистое) свечение детонационной волны (см. рис. 5, а), реостатный метод регистрирует отсутствие пульсаций фронта, а следовые методики фиксируют однородную гладкую деформацию трубок без наличия спиральных следов на их поверхности по всей длине (см. рис. 5, б).

Таким образом, пульсации свечения на фоторегистрограммах связаны с пульсациями фронта детонации, появляющимися в результате потери устойчивости детонационной волны со стационарным фронтом. Характер потери устойчивости детонационной волны со стационарным фронтом и расстояния, на котором эта волна переходит в волну с пульсирующим фронтом, зависят от составов веществ и свойств их компонентов и не зависят от способов и режимов инициирования. Так, на рис. 1, а—в, д, 3, а, в приведены фоторегистрограммы распространения

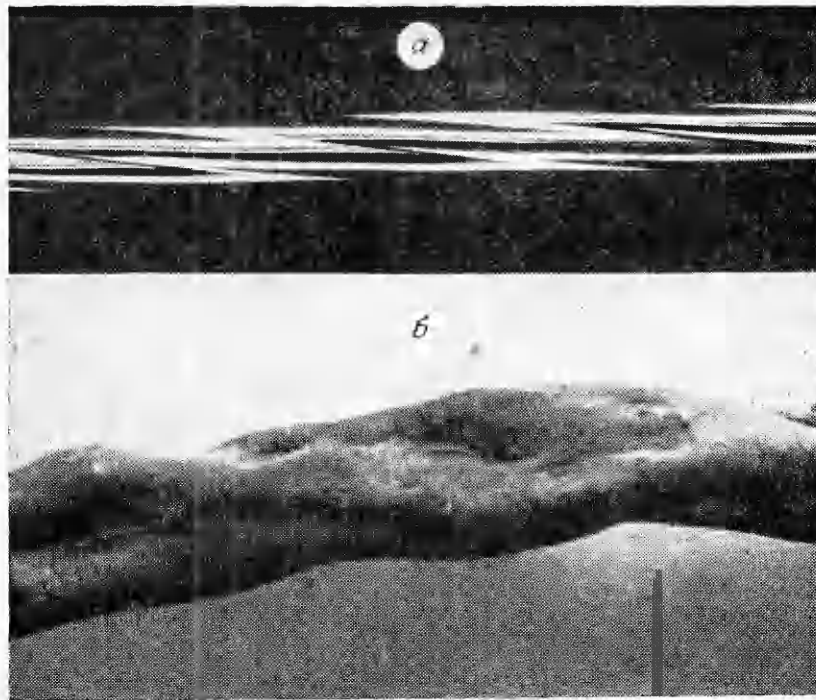


Рис. 4. Вид отожженных медных трубок диаметром 3 мм после деформации их в детонационной волне с пульсирующим фронтом; трубки находились на расстоянии от оси заряда 0 (а) и 80 мм (б). Диаметр заряда 220 мм. Материал оболочки заряда — полиэтилен.

а) параллельно оси трубки (до деформации в волне) протравлены контрольные полосы;
б) до деформации в волне — гладкая трубка.

детонационных волн в зарядах гетерогенных веществ одного и того же состава, инициированных зарядами различной симметрии в режимах недосжатой, пересжатой и нормальной детонации. Видно, что расстояние перехода детонационных волн со стационарным фронтом в волны с пульсирующим фронтом остается постоянным и не зависит от способов и режимов инициирования.

Изменение составов веществ существенно сказывается на характере и расстоянии перехода. Для суспензионных, а также насыщенных жидкостью пористых веществ замена инертной добавки химически активной той же дисперсности снижает расстояние перехода. Этому же способствует также уменьшение размера инертного твердого компонента (диаметра d'). Так, в насыщенном жидкостью пористом веществе изменение d' с 3,5 до 1,5 мм приводит к тому, что потеря устойчивости детонации происходит уже в стадии инициирования. При этом появляются высокочастотные пульсации фронта малой амплитуды (см. рис. 1, г, д), которые с течением времени переходят в пульсации фронта меньшей частоты и большей амплитуды (см. рис. 3, б, г).

Таким образом, из представленных результатов следует, что детонационные волны, стационарные и устойчивые при $l_1 \leq l_{cr}$, могут терять устойчивость на расстояниях, превышающих величины, требуемые условием стационарности и устойчивости. В результате потери устойчивости детонационных волн со стационарным фронтом образуются детонационные волны с пульсирующим фронтом. Расстояние, на котором образуются детонационные волны с пульсирующим фронтом, зависит от составов веществ, но на него не влияет способ инициирования детонации. Потеря устойчивости детонации при $l_2 > l_{cr}$ свидетельствует о том, что условие стационарности и устойчивости выполняется не для всех конденсированных веществ, а также о том, что в теорию детонации наряду с критическим диаметром необходимо вводить еще и критическую длину стациона-

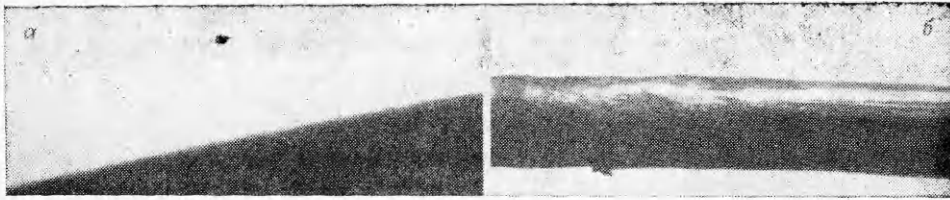


Рис. 5. Фоторегистрограмма распространения детонационной волны со стационарным (гладким) фронтом (а) и вид отожженной медной трубки диаметром 3 мм после деформации ее в детонационной волне со стационарным фронтом (б). Трубка находилась на расстоянии 80 мм от оси заряда. Диаметр заряда 220 мм. Материал оболочки заряда — полиэтилен.

нарности и устойчивости. В этой связи актуальной задачей теории становится получение необходимого и достаточного условия стационарности и устойчивости детонации в зарядах произвольной длины, а также исследование бифуркаций по длине заряда.

В заключение работы авторы благодарят В. В. Митрофанова, В. М. Титова, А. Н. Дремина, Ю. А. Николаева, А. Н. Афанасенкова за интерес к работе и обсуждение некоторых вопросов теории детонации, относящихся к теме исследования.

Поступила в редакцию 3/VIII 1982

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. В. Войцеховский, В. В. Митрофанов, М. Е. Топчийн. Структура фронта детонации в газах. Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1963.
2. К. П. Шелкин, Я. К. Трошин. Газодинамика горения. М.: Изд-во АН СССР, 1963.
3. Б. В. Войцеховский, В. В. Митрофанов, М. Е. Топчийн. ФГВ, 1969, 5, 3.
4. К. П. Шелкин.— В кн.: Механика в СССР за 50 лет М.: Наука, 1970.
5. В. В. Пухначев. ПМТФ, 1963, 3.
6. J. J. Erpenbech. Phys. Fluids, 1964, 7, 5.
7. A. Jones. Proc. Roy. Soc., 1976, A348, 1654.
8. H. Eyring, D. E. Powell, J. M. Duffen e. a. Chem. Rev., 1949, 45, 144.
9. В. С. Трофимов, В. А. Веретенников.— В кн.: Детонация. Черногоровка: Изд-во ОИХФ АН СССР, 1977.
10. А. Н. Дремин, С. Д. Савров, В. С. Трофимов и др. Детонационные волны в конденсированных средах. М.: Наука, 1970.
11. Н. М. Кузнецов. ЖЭТФ, 1967, 52, 1.
12. Н. М. Кузнецов. ПМТФ, 1968, 1.
13. В. А. Даниленко, А. Н. Афанасенков. Письма в ЖТФ, 1978, 4, 1.
14. В. А. Даниленко, В. М. Кудинов. ФГВ, 1980, 16, 5.
15. В. А. Даниленко, А. Н. Афанасенков. Докл. АН СССР, 1981, 256, 6.
16. H. A. Cook, J. Horsley, R. T. Reyes e. a. J. Appl. Phys. 1956, 27, 3.

ОБ ОДНОМ СЛУЧАЕ КВАЗИИЗЭНТРОПИЧЕСКОГО СЖАТИЯ СРЕДЫ

Л. Н. Власова, В. С. Соловьев

(Москва)

Создание высоких давлений в конденсированных средах связано главным образом с процессом ударно-волнового нагружения, при этом во фронте ударной волны с ростом давления резко возрастает температура вещества. Однако в ряде случаев большой научный и практический интерес представляет изучение поведения различных сред в условиях высоких давлений и относительно низких температур, что может быть достигнуто в процессе изэнтропического сжатия. Различные методы квазиизэнтропического сжатия рассматривались в работах [1—4]. В [1—3] приближение процесса ударно-волнового сжатия к изэнтропическому осуществлялось реверберацией ударных волн в прокладке между ударником и