

12. А. Г. Абинов, А. М. Чеховских.— В кн.: Тезисы докладов I Всесоюзного семинара по электрофизике горения. Караганда, 1978.
13. Ю. А. Николаев, М. Е. Топчийн. ФГВ, 1977, 13, 3, 393.
14. В. Ю. Ульяницкий. ФГВ, 1980, 16, 5, 101.

Поступила в редакцию 22/VII 1985,
после доработки — 23/I 1986

УДК 662.235.5

ВЛИЯНИЕ НЕИДЕАЛЬНОСТИ ДЕТОНАЦИИ ЗАРЯДОВ ВВ НА ЭНЕРГИЮ МЕТАЕМЫХ ПЛАСТИН

В. В. Даниленко, Ю. М. Пачурин

(Челябинск)

Обычно о неидеальности детонации говорят применительно к ее распространению в зарядах малого диаметра (меньше предельного), когда заметна боковая разгрузка зоны реакции [1]. В этом случае детонация может быть стационарной. Нестационарная детонация развивается от плоскости инициирования, т. е. в условиях воздействия на зону реакции задней разгрузки [2]. Такой режим неидеальный, т. е. характеризуется меньшими параметрами (волновая и массовая скорости, давление) по сравнению с максимально возможными для данного взрывного состава. Неидеальный и нестационарный режим детонации теоретически и экспериментально изучен мало, хотя на практике такой режим скорее правило, чем исключение.

Характер развития детонации определяется во многом способом инициирования заряда. При плосковолновом инициировании (например, ударом пластины) давлением, меньшим, чем в точке Жуге для данного состава, в поверхностных слоях заряда идет реакционная ударная волна (УВ), которая на некоторой глубине, определяемой давлением инициирования, быстро переходит в стационарную детонационную волну (ДВ) [3, 4].

При инициировании заряда не по всей его поверхности, а с помощью инициатора относительно малого диаметра («точечного»), в заряде возникает сферически расходящаяся ДВ, скорость которой D растет с радиусом волны [4, 5—7].

Для «точечных» инициаторов можно назвать следующие причины неидеальности детонации:

- применение инициаторов менее мощных, чем состав заряда (с меньшими давлениями в точке Жуге);
- большая кривизна формируемого им детонационного фронта (расходимость потока — это тоже разгрузка);
- конечность размеров инициаторов, малая поверхность инициируемых зон относительно поверхности заряда, в связи с чем по краям зон возникают боковые разгрузки ДВ, вследствие чего некоторый объем поверхностного слоя заряда вокруг инициатора полноценно не детонирует. По этой же причине в криволинейных прутках ВВ с поворотами в местах поворотов наблюдается непрореагировавший объем состава [8]. Эта так называемая «темная зона» (без свечения ПВ на хронограммах) имеет ширину, равную критическому диаметру ВВ.

Проведенные различными авторами исследования детонации касаются измерений волновых и массовых скоростей, а также давлений.

Влияние же неидеальности детонации заряда на энергию метаемой зарядом пластины не изучено. Сложность этой задачи в том, что кроме неидеальности энергия пластины зависит также от кривизны детонационного фронта в заряде, от массы и размеров инициатора. Все эти три фактора взаимосвязаны и трудно выделить только влияние неидеальности.

Цель данной работы — экспериментально измерить снижение энергии пластины, метаемой зарядами различных ВВ (тротил, ТГ 50/50, ТГ 30/70, ТГ 10/90) в зависимости от степени неидеальности детонации, определяемой параметрами инициатора. Детонация возбуждалась одним инициатором различного диаметра или ударом пластины. Определялось изменение энергии пластины в опытах с зарядами из исследуемых ВВ по отношению к точно таким же зарядам из флегматизированного мелкодисперсного тэна, взятыми за эталон. Последний обладает в несколько раз более высокой восприимчивостью к детонации по сравнению с тротилом и сплавами ТГ.

Наименьший диаметр использованных инициаторов равен 2 мм, т. е. больше предельного для эталона. Поэтому было принято, что во всех опытах заряды из эталонного ВВ детонируют идеально. Тогда относительное изменение энергии пластины $K = E/E^*$ в зависимости от параметров инициирования будет обусловлено только неидеальностью детонации заряда исследуемого ВВ, поскольку другие факторы сохраняются постоянными (кривизна волн, размеры и масса инициаторов).

Потери энергии метаемой пластины, связанные с неидеальностью детонации заряда, можно разделить на две составляющие: обусловленные давлением инициирования (относительной мощностью ВВ инициатора или материалом и скоростью инициирующей пластины) и определяемые диаметром инициатора. По-видимому, потерь не будет, если инициатор изготовлен из ВВ заряда и имеет диаметр $d_{ин}$ больше предельного диаметра $d_{пр}$ для данного ВВ. Этому случаю соответствует максимальная относительная энергия пластины K_{max} . При применении для инициаторов с $d_{ин} > d_{пр}$ менее мощных составов, чем заряд, возникают постоянные потери, названные предельными (они минимальны для данной пары составов инициатора и заряда). Им соответствует предельная величина относительной энергии $E_{пр}$. Очевидно, предельные потери от неидеальности детонации $\Delta K_{пр} = 1 - K_{пр}/K_{max}$.

В случае $d_{ин} < d_{пр}$ возникает дополнительная потеря энергии, и суммарные потери составят $\Delta K_{ин} = 1 - K_{ин}/K_{max}$.

Значения $E_{пр}$ определялись в предположении, что инициаторы диаметром 10 мм из прессованного тэна обеспечивают идеальный режим детонации всех исследованных составов, кроме ТНТ. Для тротила $E_{пр} = 0$, поскольку эталонное ВВ несколько мощнее тротила.

Схема постановки экспериментов показана на рис. 1. Пластина из стали или латуни толщиной 1 мм разгонялась зарядом диаметром 60 и высотой 10 мм из исследуемого ВВ. Столь малая толщина выбрана с целью увеличения влияния участка развития детонации на энергию метаемой пластины. Моменты начала движения пластины и подлета ее к отсечке из оргстекла фиксировались камерой СФР-2М по световым вспышкам. Для их усиления использовался порошок NaCl, который наносился на поверхность пластины слоем толщиной $\sim 0,2$ мм. В результа-

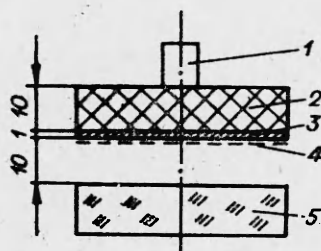


Рис. 1. Схема опытов.
1 — инициатор; 2 — заряд; 3 —
железная пластина; 4 — NaCl; 5 —
оргстекло.

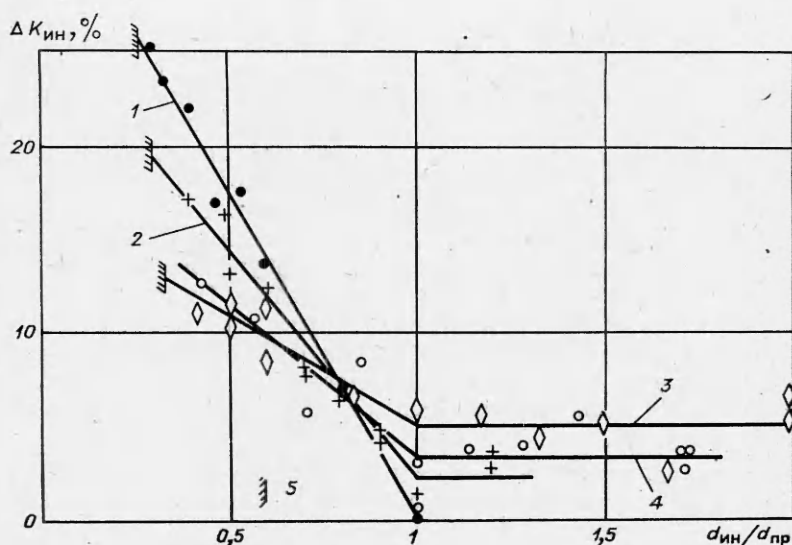


Рис. 2. Потери энергии пластины от диаметра инициатора из флегматизированного мелкодисперсного тэна.

1 — ТНТ; 2 — ТГ 50/50; 3 — ТГ 10/90; 4 — ТГ 30/70; 5 — отказ.

те обработки фотохронограмм находилось время движения на базе 10 мм точки пластины под проекцией оси инициатора.

Возможность использования этого времени для определения относительной энергии K пластины показана специальными опытами, в которых проведена регистрация подробной (через 2 мм) x, t -диаграммы движения пластины электроконтактной методикой. В этих опытах вдоль всей траектории движения пластины величина K сохранялась постоянной.

В качестве инициаторов использовались 1) обычные инициаторы в виде цилиндрических шашек из эталонного ВВ и из прессованного тэна ($\rho = 1,6 \text{ г/см}^3$); высота всех шашек одинакова и равна 10 мм, а диаметр изменялся от 2 до 15 мм; торцы шашек инициировались электродетонаторами диаметром 10 мм; 2) алюминиевые пластины для плоскостного инициирования одновременно всей поверхности заряда ударом. С каждым инициатором на данном заряде проводилось по 2—3 опыта.

Относительная энергия пластины определялась по временам t пролета пластиной базы 10 мм $K_{ин} = E/E^* = (t^*/t)^2$. Относительная погрешность измерения в одном опыте времени с учетом методической ошибки измерений с помощью СФР-2М, допусков на толщины пластины и заряда, а также базы полета, составляет $\pm 0,4\%$. Следовательно, погрешность определения K равна $\pm 1,1\%$, а потерь от неидеальности (равных отношению $K_{ин}/K_{max}$) по результатам четырех опытов — 1,6%.

Отметим, что измеренные потери относятся только к зарядам толщиной 10 мм. С ростом толщины они будут уменьшаться, поскольку уменьшается вклад наружных слоев заряда, ослабленных неидеальной детонацией. Если считать, что практически все потери сосредоточены в слое 10 мм (примыкающем к поверхности инициирования), то их уменьшение пропорционально увеличению толщины заряда.

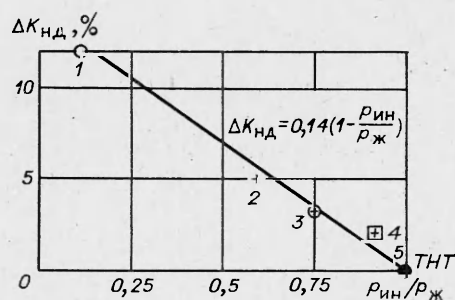
Результаты опытов с одноточечным инициированием представлены на рис. 2, где $d_{пр}$ — диаметр инициатора из эталонного ВВ, при котором K достигает постоянного значения $K_{пр}$, максимального для данных составов заряда и инициатора. Величина $d_{пр}$ оказалась практически равной предельному диаметру для данного ВВ.

Как видно из рис. 2, зависимости имеют характерный веерообразный вид: в диапазоне $d_{кр} < d_{ин} < d_{пр}$ значения $\Delta K_{ин}$ линейно уменьшаются вместе с $d_{ин}$. Потери энергии от неидеальности растут и усиливаются их

Рис. 3. Зависимость

$$\Delta K_{нд} \cdot (p_{ин}/p_{ж}).$$

1 — удар пластиной; 2 — ТГ 10/90;
3 — ТГ 30/70; 4 — ТГ 50/50; 5 —
ТНТ.



зависимость от диаметра инициатора с уменьшением восприимчивости ВВ к детонации. Например, для прессованного тротила потери энергии пластины при уменьшении диаметра инициатора с $d_{пр}$ до $\sim d_{кр}$ составляют 25%, а для ТГ 10/90 — только 8%.

Для инициаторов из эталонного ВВ измеренные величины предельных потерь от неидеальности детонации для прессованного тротила, ТГ 50/50, ТГ 30/70 и ТГ 10/90 составили 0; $2,2 \pm 1,1$; $3,2 \pm 0,5$ и $5,0 \pm 0,6\%$ соответственно. У тротила $K_{пр} = 0$, поскольку давление в точке Жуге у эталонного ВВ несколько выше, чем у тротила.

При плосковолновом инициировании заряды из ТГ 10/90 инициировались по всей поверхности давлением 4 ГПа, создаваемым при ударе алюминиевой пластиной толщиной 1 мм, разогнанной до скорости 1 км/с скользящей детонацией слоя эталонного ВВ. Согласно [2—4], развитие детонации в этом случае происходит в два четко различаемых этапа: сначала по заряду идет ударная волна со скоростью $D_{ув}$, которая на некоторой глубине x переходит в идеальную детонацию со скоростью D_{∞} . Эту глубину можно оценить, измерив задержку детонации относительно времени идеальной детонации заряда:

$$\Delta t_3 = t_3 - H/D_{\infty}.$$

Величина t_3 измерена с помощью фотохронографа СФР-2М в опытах с зарядами диаметром 60 мм, толщиной 10, 15 и 20 мм из ТГ 10/90. Во всех опытах $t_3 = 0,75 \div 0,80$ мкс, что соответствует глубине задержки 5—6 мм. При такой задержке на заряде диаметром 60 и высотой 10 мм потери энергии от неидеальности детонации $\Delta K_{нд} = 1 - K_{д1}/K_{дmax} = 12\%$.

Можно предположить, что при давлении инициирования, равном давлению в точке Жуге ($p_{ж}$) для данного состава, заряд детонирует идеально без нестационарности и без задержек. При этом и потерь энергии метаемой пластины также нет. Потери от неидеальности должны возникать при меньших $p_{ин}$. Полученные экспериментальные результаты по величинам $\Delta K_{пр}$ (для инициаторов с $d_{ин} > d_{кр}$ из различных ВВ) позволяют определить потери в зависимости от отношения $p_{ин}/p_{ж}$. Однозначность такой зависимости обусловлена тем, что использованные в опытах заряды имели практически одинаковую пористость и дисперсный состав компонентов, т. е. эти факторы не влияли на их восприимчивость к детонации и, следовательно, на потери от неидеальности детонации. Полученная зависимость показана на рис. 3.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ф. А. Баум, Л. П. Орленко, К. П. Станюкович и др. Физика взрыва. М.: Наука, 1975.
2. Б. Л. Глушак, С. А. Новиков, А. П. Погорелов. ФГВ, 1984, 20, 4.
3. А. И. Дремин, С. А. Колдунов, К. К. Шведов. ПМТФ, 1963, 6.
4. Р. Джексон, Л. Грин, Р. Барлетт и др. — В кн.: Детонация и взрывчатые вещества. М.: Мир, 1981.
5. А. А. Воробьев. Матер. VI Всесоюз. симп. по горению и взрыву. Черноголовка, 1980.
6. К. Е. Губкин. ФГВ, 1978, 14, 3.
7. W. W. Wood, J. G. Kirkwood. J. Chem. Phys., 1954, 22, 11.
8. С. А. Новиков, В. И. Шутов. ФГВ, 1980, 16, 3.

Поступила в редакцию 20/III 1986