

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. Г. Малама. Изв. АН СССР. МЖГ, 1982, 2.
2. Ю. Г. Малама. Исследование явлений, возникающих при столкновении с различными поверхностями твердых частиц, обладающих большими скоростями. Препринт ИКИ АН СССР № 642. М., 1981.
3. Дж. Динс, Дж. Уолш.— В кн.: Высокоскоростные ударные явления. М.: Мир, 1973.
4. Б. А. Иванов.— В кн.: Метеоритные структуры на поверхности планет. М.: Наука, 1979.
5. Т. Рини.— В кн.: Высокоскоростные ударные явления. М.: Мир, 1973.
6. Л. В. Леонтьев. Космич. исслед., 1976, 14, 2.
7. K. Nagel, H. Fechtig. Planet. Space Sci., 1980, 28, 6.
8. В. М. Титов. ПМТФ, 1976, 4.
9. H. Fechtig. Dust hazard of the cometary probe. ESA, SP-153, 1980.
10. N. Pailer, E. Grün. Planet. Space Sci., 1980, 28, 3.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТРАЖЕНИЯ ОТ ПРЕГРАД ДЕТОНАЦИОННЫХ ВОЛН С КОНЕЧНОЙ ЗОНОЙ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

*С. М. Бахрах, А. А. Евстигнеев, В. Н. Зубарев, А. А. Шанин
(Москва)*

При расчетном моделировании установившихся детонационных волн и при интерпретации первичных экспериментальных данных используются те или иные модельные представления о детонации. В [1] проведено разделение двух моделей ДВ: 1 — модель Зельдовича — Неймана — Деринга с постоянной шириной зоны химических реакций a ; 2 — модель Чепмена — Жуге, где $a = 0$. Следует дополнить эти модели более общей, которая используется, как правило, только при расчетном моделировании детонации [2—4].

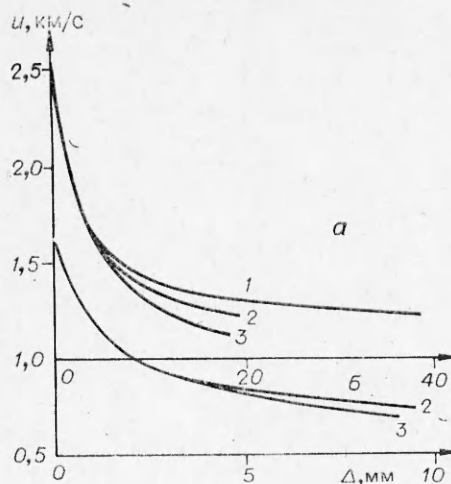
Не обладая той наглядностью и простотой, которая присуща моделям, указанным выше, общая модель может претендовать на точное описание процесса детонации (при известных уравнениях состояния ВВ и продуктов взрыва и кинетики взрывного разложения) не только при распространении сформировавшейся ДВ, но и на стадии ее формирования. Она не содержит гипотезы Жуге (условия касания) и может служить, в частности, для определения меры неточностей, вносимых этим условием или гипотезой о стационарности зоны реакций в тех или иных конкретных случаях.

В [4] приведены расчеты, в которых анализировались структура и эволюция детонационной волны по мере ее распространения. В принятых предположениях об уравнениях состояния и кинетики разложения ВВ получены вполне реальные результаты, которые хорошо согласуются с существующими представлениями о параметрах плоских детонационных волн и качественно могут дать объяснения некоторых несоответствий между различными группами экспериментов. Основные результаты [4] сводятся к следующему:

1) при заданном уровне точности определения параметров потока за фронтом ДВ ширину зоны реакций (a — расстояние от фронта до плоскости Жуге, в которой выполнено условие касания) можно считать постоянной, начиная с некоторого расстояния, пройденного детонационной волной;

2) реакции оказывают заметное влияние на течение за звуковой плоскостью (в области $\sim 5a$);

3) точность определения «истинных» параметров предельного режима, который достигается асимптотически, повышается при увеличении пути, проходимого детонационной волной, экстраполяцией участков



Изменения массовой скорости на фронте ударной волны в Al (а) и Cu (б) для зарядов длиной 20 (3), 40 (2) и 80 (1) мм (Δ — путь, пройденный ударной волной в преграде).

распределений параметров, удаленных от фронта (вне области $\sim 5 a$).

Ниже приводятся численные результаты по затуханию ударных волн в преградах из алюминия и меди. Они продолжают расчеты [4] и отражают движение волн в преграде и продуктов взрыва после взаимодействия ДВ с преградами. Для расчетов приняты уравнения состояния с предельной плотностью: для

Al — $\rho_0 = 2,72 \text{ г/см}^3$, $c_0 = 5,35 \text{ км/с}$, $n = 4$, $h = 3$; для Cu — $\rho_0 = 8,93 \text{ г/см}^3$, $c_0 = 3,88 \text{ км/с}$, $n = 4,8$, $h = 3$.

Результаты расчетов приведены на рисунке, где показаны кривые затухания, т. е. уменьшение амплитудного значения массовой скорости на фронте ударной волны при ее движении от границы раздела ПВ — металл.

Имея эти данные, можно, как это делается при обработке исходных экспериментальных данных, определить параметры детонации в рамках известных моделей. Для модели 2 получаются минимальные значения и $u_{Al} = 1,35 \div 1,45 \text{ км/с}$ (в зависимости от длины заряда и пути УВ в преграде), а $u_{Cu} = 0,85 \div 0,9 \text{ км/с}$. Как видно из рисунка, эти величины находят при линейной экстраполяции наиболее удаленных участков кривых затухания к нулевой толщине преграды.

Согласно [4], ширина зоны, в которой происходит достаточно полное выгорание ВВ, составляет $\sim 1 \text{ мм}$. В принятой процедуре пересчета [6] соответствующие точке Жуге расстояния в преградах равны 7 и 4 мм для Al и Cu соответственно. Отвечающие им скорости на рисунке $u_{Al} = 1,4 \div 1,5 \text{ км/с}$, $u_{Cu} = 0,85 \text{ км/с}$ близки к найденным по модели 2.

Для этих значений массовых скоростей указаны минимальные различия ($\sim 10\%$), которые даже для очень точных измерений могут быть выше при более широких вариациях условий эксперимента. В принятой нами модели использованы модельные уравнения состояния и кинетики. Качественно они согласуются с экспериментальными данными об установившихся детонационных волнах. Косвенным подтверждением качественного согласия расчетов и экспериментальных результатов может служить, например, работа [7], где систематизированы эксперименты по затуханию УВ в преградах при различных размерах преград и зарядов. Обработка данных в [7] велась на основе модели 1.

Определяемые с использованием моделей 1 и 2 параметры детонации с той или иной неопределенностью могут описывать реальные детонационные волны, но их средние значения могут существенно отличаться от параметров, характеризующих предельный асимптотический режим и определяющихся уравнением состояния равновесных ПВ. В нашем случае этому асимптотическому режиму отвечают $u_{Al} = 1,32 \text{ км/с}$ и $u_{Cu} = 0,75 \text{ км/с}$ и максимальные скорости, соответствующие химпику: $u_{Cu} = 1,61 \text{ км/с}$, $u_{Al} = 2,56 \text{ км/с}$.

Отклонения от моделей 1 и 2 сравнительно невелики и составляют $\sim 10\%$ по давлениям (или скоростям). Это позволяет понять экспериментальный факт постоянства скорости детонации D , поскольку при выполнении условия Жуге (даже приближенном) $\Delta D \sim (\Delta p)^2$, т. е. изменения D не должны превышать $\sim 1\%$, что наблюдалось и в численном моделировании.

Приведенные результаты достаточно хорошо иллюстрируют пути возникновения ошибок при интерпретации детонационных экспериментов с помощью приближенных моделей 1, 2. Утверждение об асимптотическом приближении общего решения к модели 1 независимо от кинетики реакций [4], хотя строго и не доказано, представляется наиболее вероятным. Это означает, что в точном смысле течение в плоской ДВ в зоне реакции и при последующем расширении нестационарно, за исключением специальных условий формирования ДВ.

Следовательно, и характеристики детонации, фигурирующие в моделях 1, 2, не могут быть определены с точностью выше некоторой, поскольку сами модели приближенные, как и характеристики, которые они включают (p , a и т. д.). Конечно, для количественного согласования высказанных утверждений с конкретными экспериментальными данными требуется более детальное численное моделирование процесса, но качественные выводы представляются несомненными.

Поступила в редакцию 29/IV 1983

ЛИТЕРАТУРА

1. W. C. Davis, J. B. Ramsay. The 7-th Symp. (Intern.) on Detonation. V. 2. Maryland, 1981.
2. М. В. Баталова, С. М. Бахрах, В. Л. Загрузкин и др. ПМТФ, 1974, 3, 79.
3. Т. Н. Фортова, К. Г. Шкадинский, А. Н. Дремин и др. ФГВ, 1977, 13, 1, 69.
4. С. М. Бахрах, А. А. Евстигнеев, В. Н. Зубарев и др. ФГВ, 1981, 17, 6, 117.
5. Я. Б. Зельдович, А. С. Компанец. Теория детонации. М.: ГИТТЛ, 1955.
6. R. E. Duff, E. J. Houston. J. Chem. Phys., 1955, 23, 8, 1268.
7. В. Н. Зубарев, Н. В. Панов, Г. С. Телегин. ФГВ, 1970, 6, 1, 107.

ЗАРОЖДАЮЩИЙСЯ ОТКОЛ В МЕДИ

Е. А. Козлов, А. К. Музыря, Р. Х. Чинкова, Е. В. Шорохов
(Челябинск)

Отколом называют разрушение материала в волнах растяжения при взрывном или ударном нагружении. Это очень быстрый вид разрушения, и в упрощенной интерпретации он считается мгновенным. Предполагается, что при достижении растягивающим напряжением некоторой критической величины (откольной прочности) материал мгновенно теряет сплошность. В ряде исследований отмечался, однако, факт зависимости откольной прочности от длительности растягивающего напряжения. Указывается также на конечную протяженность во времени процесса зарождения и развития откола — от возникновения микропор и трещин до разделения материала [1—5]. Если нагрузка кратковременна, процесс может остановиться на какой-то стадии.

В данной работе путем варьирования длительности нагрузки реализована различная степень откольного повреждения меди. В количественном виде установлена связь между параметрами нагрузки и повреждениями.

Исследованы четыре образца из меди М1 в состоянии поставки. Средний размер зерна 30—40 мкм, плотность 8,90 г/см³. На поверхность образца наносили слой ВВ. При инициировании ВВ нагрузка распространяется вдоль поверхности контакта ВВ и образца со скоростью детонации D^* . Она формирует в материале наклоненную под углом θ к этой поверхности ударную волну. Создается кратковременный импульс давления, способный вызвать откольное разрушение. Ударная волна затухает по мере ее распространения в материале. Чтобы в одном образце задать различные условия по растяжению и реализовать области с различной степенью откольного повреждения, образцы готовили переменной толщины. В клине растягивающие напряжения меняются непрерывно по амплитуде и длительности.