

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. Н. Рябинин. ЖЭТФ, 1952, 23, 461.
2. А. М. Маркевич, В. В. Азатян, Н. А. Соколова. Кинетика и катализ, 1962, 3, 3.
3. Ю. Н. Рябинин, А. М. Маркевич, И. М. Тамм. Докл. АН СССР, 1957, 112, 2.
4. А. М. Маркевич, И. И. Тамм, Ю. Н. Рябинин. ЖФХ, 1958, 32, 10.
5. A. Martinengo, J. Melczer, E. Schlimme. 10-th Symposium (Intern.) on Combustion, Pittsburgh, The Combustion Institute, 1965.
6. И. Е. Волохонович, А. М. Маркевич и др. Докл. АН СССР, 1962, 146, 2.
7. V. N. Kondratiev. 10-th Symposium (Intern.) on Combustion. Pittsburgh. The Combustion Institute, 1965.
8. Ф. Б. Вурзель, Л. С. Полак, В. С. Шипачев. Кинетика и катализ, 1966, 7, 6.
9. А. Н. Воинов, Д. И. Скороделов, Ф. П. Соколов. Кинетика и катализ, 1964, 4, 3.
10. M. Letort. Comt. rend. Acad. Sci., 1933, 197, 1042.
11. M. Letort. J. Chim. phys. 1937, 34, 428.
12. M. D. Scheer. 5-th Symposium (Intern.) on Combustion, N. Y. Reinhold Publ. Corp. 1955.

УДК 662.4

К ВОПРОСУ ОБ ИЗУЧЕНИИ ПРОЦЕССА ИНИЦИИРОВАНИЯ ДЕТОНАЦИИ ВВ УДАРНЫМИ ВОЛНАМИ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ

А. Н. Дремин, А. Н. Михайлов

(Москва)

Возникновение большой электропроводности при детонации ВВ было обнаружено в работе [1]. Величина проводимости вблизи детонационного фронта достигала $0,1-1$ 1/Ом·см. Ни одна из возможных предполагаемых причин появления такой проводимости (термическая ионизация, химическая реакция, увеличение плотности), по мнению авторов [1], не могла объяснить это явление. Тем не менее в дальнейшем ряд авторов пытался изучать процесс инициирования детонации, пользуясь измерениями задержек возникновения электропроводности [2, 3]. Лишь в работе [4] на примере тротила и тетрила было показано, что высокая проводимость может либо не возникать, либо возникать много позднее начала разложения ВВ. К сожалению, пределы измерения электросопротивления в данной работе были очень небольшими ($10^{-3}-10^{-1}$ Ом).

В настоящей работе наблюдался оптически процесс инициирования детонации нитрометана с помощью скоростного фоторегистра типа ЖФР с одновременным измерением его электропроводности. Нитрометан был выбран как жидкое прозрачное ВВ, развитие взрыва в котором изучалось оптически рядом авторов [5, 6]. В этих работах показано, что детонация НМ возникает при амплитуде инициирующей ударной волны $P=70-80$ кбар с некоторой задержкой на границе экран—ВВ, идет по сжатому веществу, догоняет фронт ударной волны и переходит в нормальную детонацию.

Для совместного измерения электропроводности и оптического наблюдения времени задержки взрыва нитрометана было выбрано экспериментальное устройство, показанное на рис. 1. Оно представляет собой кювету 4 из парафина (внутренняя полость 20×10 мм), открытую сверху для наблюдения с помощью фоторегистра. Парафин был выбран как вещество, имеющее почти совпадающую с нитрометаном ударную

адиабату. Внутри полости вставлены три электрода 7 из медной фольги $10 \times 0,05$ мм, направленных навстречу движению фронта ударной волны. Расстояние между электродами было 3—5 мм. Как показано в работе [7], такое расположение контактов позволяет получить распределение электропроводности во времени за фронтом ударной волны. Для синхронизации осциллограммы и записи на фоторегистре ставились плексигласовые зазоры 3 и 8, один из которых одновременно служил поляризационным отметчиком времени, дававшим сигнал на второй луч осциллографа ОК-33. Еще один плексигласовый зазор 5 ставился сверху кюветы для получения момента времени выхода ударной волны на свободную поверхность нитрометана 6.

Заряд ВВ из тротила или сплава ТГ различной плотности и взрывной линзы $\varnothing 120$ мм генерировал в нитрометане плоскую ударную волну через металлический экран 1 $\varnothing 120 \times 8$ мм и прослойку парафина 2 $\varnothing 100 \times 10$ мм.

Применяемый метод позволил регистрировать минимальную проводимость $\sigma = 5 \cdot 10^{-6}$ 1/Ом·см. Предварительные испытания ячейки с бензолом показали отсутствие заметной проводимости при давлениях до 120 кбар.

Типичная фотохронограмма опыта и запись на осциллографе представлены на рис. 2. На рис. 3 для наглядности дана схема этих записей, совмещенных на оси времени и предварительного снимка экспериментальной сборки. В результате обработки серии подобных экспериментов можно сделать следующие выводы.

Практически везде проводимость заметно возрастает раньше, чем возникает свечение детонации. Это наглядно представлено на рис. 4. Везде, где есть свечение детонации, проводимость достигает очень большой величины ($\sigma = 10^{-1} \div 1$ 1/Ом·см).

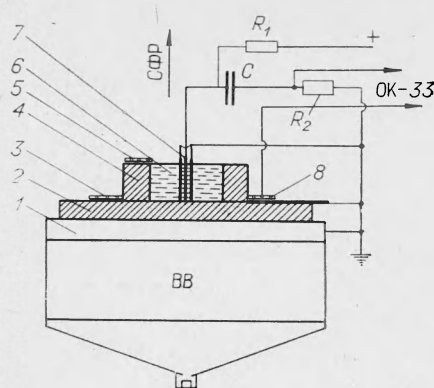


Рис. 1. Схема экспериментального узла для одновременного наблюдения на фоторегистре и записи сигнала изменения электропроводности и диэлектрической постоянной.

Всегда, когда наблюдается такая величина проводимости, возникает и свечение детонации.

Имеется определенное нарастание проводимости за фронтом ударной волны. Время нарастания 0,2—0,5 мкс. Появление проводимости с задержкой и нарастание ее во времени может означать, что проводимость связана не с изменением параметров во фронте ударной волны (изменение P , T), а с какой-то химической реакцией, имеющей определенное время развития (разложение на ионы, образование конечных продуктов взрыва и т. д.).

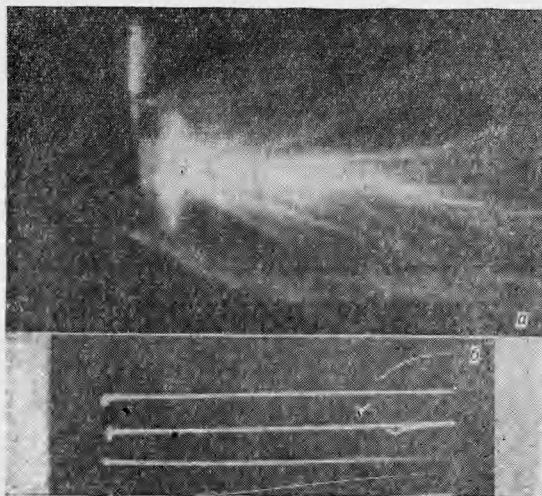


Рис. 2. Типичная фотохронограмма инициирования детонации (а) и осциллограмма изменения электропроводности и поляризационного сигнала — отметчика входа ударной волны в НМ (б).

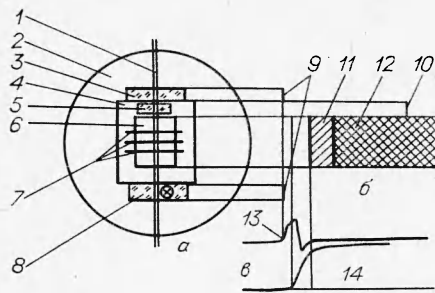


Рис. 3. Вид сверху на экспериментальное устройство, показанное на рис. 1 (а); схема наблюдаемого на фоторегистре развития детонации (б); схема записи на осциллографе ОК-33 (в).

1 — проекция щели прибора ЖФР; 9 — свечение зазоров, дающих отметку выхода ударной волны в НМ; 10 — свечение зазора, дающего отметку выхода ударной волны на тыльную поверхность сборки; 11 — свечение детонации по сжатому ВВ; 12 — свечение после догона детонацией ушедшей вперед ударной волны; 13 — поляризационный сигнал входа ударной волны в НМ (начало сигнала при обсчете совмещается по оси времени со свечением первых зазоров); 14 — сигнал увеличения электропроводности. (Остальные обозначения см. на рис. 1.)

80 кбар. Тем не менее увеличение проводимости, вызванное второй волной, невелико, что, по-видимому, можно объяснить меньшим подъемом температуры при двукратном сжатии.

Описанные результаты говорят о том, что изучение возникновения электропроводности, если оно связано с химической реакцией распада НМ, может существенно изменить наши представления о временах развития взрыва, полученные из оптических наблюдений. Тот факт, что проводимость имеет определенное время нарастания до максимальной величины, позволяет думать, что, если эта реакция представляет собой тепловой взрыв, то он носит вырожденный характер [9].

К сожалению, пока нельзя однозначно связать процент химического превращения и величину электропроводности, так как неизвестно, при каком проценте разложения настоящим методом будет фиксироваться заметная проводимость. Поэтому, если под временем задержки взрыва понимать время, в течение которого вещество не претерпевает заметных превращений, то необходимо уметь наблюдать какое-то свойство этого вещества, изменение которого с помощью существующей аппаратуры можно фиксировать с момента входа ударной волны.

Таким свойством, на наш взгляд, является изменение диэлектрической проницаемости (ϵ). Она должна изменяться сразу во фронте ударной волны из-за сжатия и повышения температуры и в дальнейшем при возникновении химической реакции из-за изменения дипольного момента молекул. Преимуществом этого параметра по сравнению с электропроводностью является то, что можно чувствовать изменение его, даже если оно происходит в отдельных огра-

Проводимость возрастает и в случае давлений, где не наблюдается оптически развитие детонации. Есть заметный разрыв между величиной проводимости в этом случае ($\sigma = 10^{-5} \div 10^{-4}$ 1/Ом·см) и проводимостью при детонации. Можно предположить, что и при этих давлениях (~ 60 кбар) идет какая-то химическая реакция, не развивающаяся во взрыв. Заметим, что в этих опытах при использовании экрана из Al и тонкого слоя парафина через некоторое время наблюдается выход второй ударной волны из-за отражения волны разряжения в Al от продуктов взрыва основного заряда. Специальные измерения с применением электромагнитной методики [8] показали, что вторая волна входит примерно через 1,5 мкс после первой. Амплитуда ее может быть больше первой на 10—15 кбар, т. е. приближаться уже к 70—

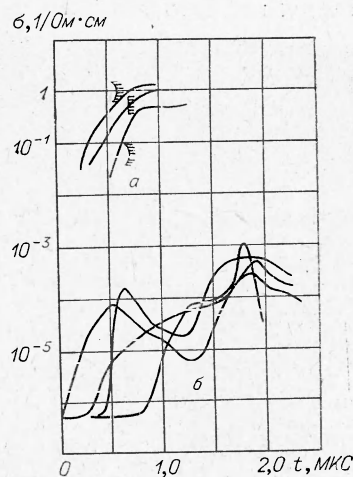


Рис. 4. Зависимость электропроводности от времени при инициировании нитрометана.

Давления ударной волны: а — $p = 80-90$ кбар (штриховкой отмечены моменты возникновения свечения); б — $p = 55-35$ кбар.

ниченных объемах, например слоях (проводимость в этом случае не отметим, так как очаги реакции будут разделены слоями очень хорошего диэлектрика). В работе [7], где было предложено используемое нами расположение контактов, авторы не обратили внимания на очень перспективную, на наш взгляд, возможность этого метода. Данная система, являющаяся конденсатором, будет записывать изменение ϵ при отсутствии проводимости. Если ϵ увеличивать, то сигнал будет той же полярности, что и при увеличении электропроводности. Разделить такие сигналы очень трудно, поскольку даже резкий скачок из-за изменения ϵ можно приписать очень узкой (в пределах завала осциллограммы) зоне проводимости. И лишь в тех случаях, когда ϵ при ударном сжатии падает, сигнал будет отрицательным и его уже нельзя спутать с электропроводностью.

Проведенные эксперименты показали, что в НМ при ударном сжатии наблюдается именно уменьшение диэлектрической проницаемости. Скачок ϵ возникает сразу во фронте ударной волны (с точностью до 0,1 мкс — предела разрешения аппаратуры). Результаты представлены на рис. 5. Уменьшение ϵ можно качественно объяснить сжатием и увеличением температуры. Кривые 2, 3, 4 показывают изменения ϵ , рассчитанные по формулам Дебая, Сыркина, Кирквуда [10] в предположении постоянства дипольного момента, рефракции и g -фактора в этих формулах. Температуры ударного сжатия НМ взяты из работы [11]. Теоретическая и экспериментальная кривые показывают падение ϵ с увеличением амплитуды ударной волны.

Записи $\epsilon = f(t)$ имеют столообразный профиль при низких давлениях (рис. 6, а), говорящий об отсутствии каких-либо существенных изменений с веществом за время регистрации. При более высоких давлениях через некоторое время (0,2—1,5 мкс) происходит уменьшение отброса или перемена знака сигнала, что, по-видимому, отвечает увеличению проводимости (рис. 6, б). Из рис. 5 видно, что при 90 кбар экспериментальные значения изменения ϵ на фронте не укладываются в плавный ход кривой $\epsilon(p)$, что может говорить о каком-то изменении в веществе уже вблизи фронта ударной волны, несмотря на то, что свечение детонации и проводимость имеют определенную задержку в этих же опытах.

Из приведенных результатов видно, что измерение диэлектрической проницаемости является наиболее чувствительным методом определения начала превращения вещества в процессе ударного сжатия (распад дипольных молекул и т. д.) и может служить для определения нижних пределов давления ударной волны, не вызывающего этих изменений.

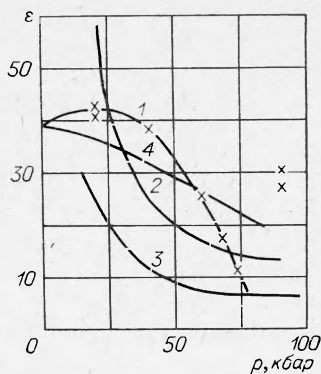


Рис. 5. Изменение диэлектрической проницаемости при ударном сжатии нитрометана.

1 — экспериментальная кривая; 2 — расчет по формуле Дебая [10]; 3 — расчет по формуле Сыркина [10]; 4 — расчет по формуле Кирквуда [10].

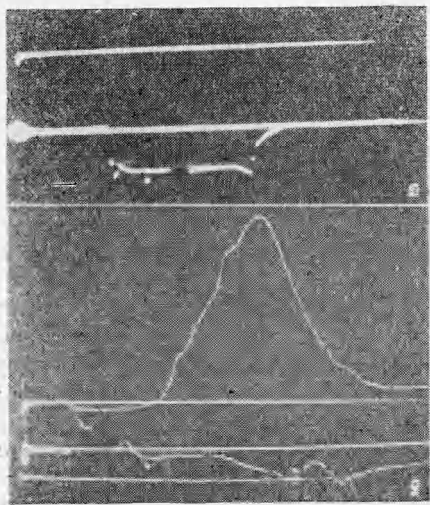


Рис. 6. Осциллограммы записи изменения диэлектрической проницаемости при отсутствии электропроводности (а), при появлении ее с задержкой (б).

Таким образом, можно сделать следующий вывод.

Измеренные времена задержки развития взрыва по увеличению электропроводности заметно отличаются от определенных оптическим методом. Поэтому необходимо независимым способом определить, какому проценту превращения соответствует та или иная величина проводимости. Только после этого возможно сделать выбор между методами электропроводности и оптическим методом с целью использования задержек инициирования взрыва для изучения кинетики разложения ВВ. Для установления же нижних пределов давления ударной волны, при которых вещество не претерпевает заметного разложения, наиболее приемлемым представляется метод измерения диэлектрической проницаемости.

Поступила в редакцию
6/II 1973

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Н. Бриш, М. С. Тарасов, В. А. Цукерман. ЖЭТФ, 1959, 37, 6 (12), 1543—1549.
2. А. Г. Иванов, Ю. Н. Тюняев и др. ФГВ, 1969, 5, 3.
3. С. А. Колдунов, А. Н. Дремин. В сб. «Взрывное дело», № 63/20. М., «Недра», 1967.
4. А. Н. Дремин, С. А. Колдунов, К. К. Шведов. ФГВ, 1972, 8, 1.
5. A. W. Campbell, W. G. Davis, I. R. Travis. The Physics of fluid, 1963, 4, 4.
6. А. Н. Дремин, С. Д. Савров, А. Н. Андриевский. НТПГВ, 1965, 1, 2.
7. Л. В. Кулешова. ФТТ, 1969, 11, 5.
8. А. Н. Дремин, К. К. Шведов, В. А. Веретенников. Сб. «Взрывное дело», № 52/9. М., Гостехиздат, 1963.
9. Д. А. Франк-Каменецкий. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. М., Изд-во АН СССР, 1947.
10. В. И. Минкин, О. А. Осипов, Ю. А. Жданов. Дипольные моменты в органической химии. М., «Химия», 1968.
11. Michael, C. Thwaite, R. Show. J. Chem. Phys., 1970, 53, 2.

УДК 662.215.1

О СТАЦИОНАРНОСТИ «ДЕТОНАЦИИ С МАЛОЙ СКОРОСТЬЮ» В ТВЕРДЫХ ПОРОШКООБРАЗНЫХ ВВ

К. К. Шведов, С. А. Колдунов, А. Н. Дремин

(Москва)

В ряде работ по исследованию детонации с малой скоростью в зарядах твердых ВВ без оболочки или в слабой оболочке, выполненных в последнее время, большое внимание уделяется механизму разложения вещества. При этом распространение взрыва с малой скоростью рассматривается как детонация в неидеальном режиме с использованием для постановки задачи и для анализа результатов основных выводов современной гидродинамической теории детонации [1—5].

Однако режимы распространения взрыва с малой скоростью ($\approx 1-2$ км/с) в твердых ВВ наблюдаются очень редко и только в специфических условиях проведения эксперимента. Обычно они либо затухают, либо развиваются до нормальной детонации. Поэтому всегда возникают сомнения относительно стационарности распространения такого режима и правомерности использования закономерностей гидродинами-