

## ОБ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ВВ ПРИ ИНИЦИИРОВАНИИ ДЕТОНАЦИИ УДАРНЫМИ ВОЛНАМИ

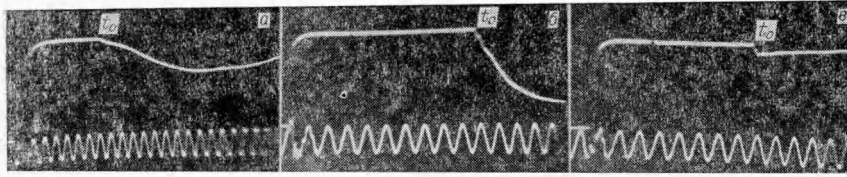
А. Н. Дремин, С. А. Колдунов, К. К. Шведов

(Москва)

В работах по возбуждению детонации ударными волнами, как правило, считается, что появление электропроводности за ударным фронтом во взрывчатых веществах обусловлено образованием проводящих продуктов экзотермической реакции разложения [1—3 и др.]. Поэтому данные по электропроводности, получаемые в условиях инициирования, привлекаются для обоснования определенных соображений о характере тепловыделения в ударных волнах [2—4]. Однако непосредственных доказательств прямой связи электропроводности с химическим разложением в ударных волнах нет. Косвенным свидетельством в пользу существования такой связи, по-видимому, можно считать отсутствие заметной электропроводности в инертных (невзрывчатых) диэлектриках в ударных волнах с давлением менее 50 *кбар* [3, 5], которые соответствуют давлениям инициирования детонации с задержкой.

В настоящей работе изучалась электропроводность насыпных зарядов тротила и тетрила при воздействии на них ударными волнами с интенсивностью от 8 до 25 *кбар*. Результаты сопоставлены с данными об энерговыделении в этих условиях, полученными в работе [6], с целью выяснения связи данных по электропроводности с тепловыделением за фронтом ударной волны, развивающейся в детонационную. В частности, в работе [6] путем измерения параметров фронта волны и профиля массовой скорости показано, что в пористых ВВ под действием ударных волн с амплитудой, по крайней мере, не менее 8 *кбар* разложение ВВ происходит непосредственно за ударным фронтом без заметной задержки во времени. Причем выделяющейся энергии оказывается достаточно для усиления параметров исходной ударной волны и ее развития в детонационную.

Методика и техника эксперимента измерения электропроводности в ударных волнах аналогична описанной в работах [3, 7, 8] и основана на помещении в заряд ВВ металлических зондов. Измерение электропроводности осуществлялось посредством записи на осциллограф напряжения с сопротивления, шунтирующего зонды. В качестве зондов в работе использовались две изолированные с боковой поверхности медные проволочки диаметром 0,6 мм. Зонды располагали в радиальной плоскости по центру цилиндрического заряда диаметром 60 мм. Расстояние между зондами составляло 9 мм. Электропроводность измеряли на границе раздела ослабитель (плексиглас) — исследуемое ВВ и в ВВ на расстоянии от границы раздела  $l=4$  мм. Для отметки момента подхода фронта ударной волны к плоскости расположения зондов использовался специальный электроконтактный датчик, который замыкался под действием ударной волны, отключая часть шунтирующего сопротивления. Шунтирующее сопротивление без отключаемой части брали равным 50 ом. Измерительная схема позволяла регистрировать изменения сопротивления ВВ в интервале от  $10^3$  до  $10^{-1}$  ом. На рисунке приведены осциллограммы записей электропроводности в зарядах тротила и тетрила насыпной плотности.



Осциллограммы записи электропроводности.

а, б — в тротиле ( $\rho_0=0,78 \text{ г/см}^3$ ) на границе раздела на расстоянии  $l=4 \text{ мм}$ ; в — в тетриле ( $\rho_0=0,82 \text{ г/см}^3$ );  $l=4 \text{ мм}$ ,  $t_0$  — момент подхода ударного фронта к плоскости зондов. Частота колебаний генератора меток времени  $1 \text{ кГц}$ .

Из осциллограмм следует, что в заряде ТНТ с начальной плотностью  $\rho_0=0,73 \text{ г/см}^3$  (размер зерна  $\approx 0,1 \text{ мм}$ ) рост проводимости имеет место как при измерениях непосредственно на границе раздела ослабитель (плексиглас) — ВВ (при давлении в ударной волне  $P=8 \text{ кбар}^*$ ), так и при измерении на расстоянии от границы раздела  $l=4 \text{ мм}$  ( $P \approx 17 \text{ кбар}$ ). Минимальная величина сопротивления  $R_{\min}$  при измерениях на границе оказалась  $80 \div 90 \text{ ом}$  и достигалась за времена  $8 \div 10 \text{ мксек}$ . На расстоянии  $l=4 \text{ мм}$  величина  $R_{\min}$  уменьшалась до  $15 \div 20 \text{ ом}$ , а время достижения  $R_{\min}$  сокращалось приблизительно в два раза. Как видно из осциллограмм, при  $l=4 \text{ мм}$  ( $P \approx 17 \text{ кбар}$ ) заметный спад сопротивления имеет место непосредственно вблизи фронта.

В тетриле ( $\rho_0=0,8 \text{ г/см}^3$ ; преимущественный размер зерна  $0,15 \text{ мм}$ ) заметная электропроводность не регистрировалась за все время записи ( $10 \div 15 \text{ мксек}$ ) при  $l=0$  и  $l=4 \text{ мм}$  ( $P \approx 25 \text{ кбар}$ ). Таким образом, в различных ВВ электропроводность при равных ударных воздействиях может отличаться по крайней мере на два порядка. Исходя только из этих данных по электропроводности можно было бы сделать вывод о том, что в тротиле в данных условиях имеет место разложение, а в тетриле же заметного разложения нет, даже спустя  $10\text{—}15 \text{ мксек}$ . Последний результат, однако, находится в противоречии с выводами работы [6], где показано, что как в тротиле, так и в тетриле в аналогичных условиях происходит энерговыделение и, как следствие этого, наблюдается ускорение фронта волны. Причем в тетриле разложение и развитие ударной волны в детонацию происходит интенсивнее. Заряды исследованных ВВ имеют, практически, одинаковую структуру, а сами ВВ близки по своим физико-механическим свойствам. Следовательно, различие в электропроводности не может быть обусловлено различием в характере и количестве локальных очагов разогрева. В частности, отсутствие заметной электропроводности в тетриле не может быть, по-видимому, объяснено пространственным разделением очагов реакции в течение  $10\text{—}15 \text{ мксек}$ .

В то же время, учитывая малость амплитуды, сам факт регистрации в наших условиях повышенной электропроводности в тротиле, как и различие в электропроводности двух исследованных ВВ, нельзя также объяснить какими-либо процессами, не связанными с химическим разложением.

Возможно, что более высокая проводимость ТНТ связана с повышенным содержанием в продуктах его разложения свободного (твердого) углерода. Именно этим, например, объясняется высокая проводимость продуктов детонации тротила по сравнению с другими индиви-

\* Параметры, характеризующие ударные волны, взяты из работы [6].

дуальными ВВ [9]. Отметим в этой связи, что в работах, в которых идет речь о заметном уменьшении сопротивления ВВ за ударным фронтом, исследовались взрывчатые вещества, представляющие собой либо чистый тротил [3, 10], либо его смеси с различными ВВ [1, 2 и др.].

Содержание твердого углерода в продуктах разложения, увеличивая их проводящую способность, в то же время уменьшает газоприток в процессе реакции. Это соответственно должно приводить к менее интенсивному, чем, например, в тетриле, усилению параметров волны даже в предположении одинаковых скоростей (глубины) разложения исходных веществ. Таким образом, большая электропроводность еще не означает большую скорость разложения и соответственно более интенсивное усиление волны.

Необходимо отметить также возможное временное несоответствие в изменении проводимости там, где она регистрируется (тротил), с развитием химической реакции, энергия от которой идет на поддержание и усиление ударной волны. В тротиле максимум электропроводности при давлении на ударном фронте около 8 кбар достигается за времена  $7\div 8$  мксек. Если считать, что максимум электропроводности соответствует наиболее развитому энерговыделению, то, следовательно, оно должно иметь место в данном слое ВВ спустя  $7\div 8$  мксек после прохождения ударного фронта. Однако, по данным работы [6], энергия, достаточная для усиления параметров волны, выделяется вблизи фронта приблизительно в течение 1 мсек. За времена же  $7\div 8$  мксек, согласно [6], в наших условиях эксперимента вещество вообще уже находится в разгруженном состоянии.

На основании изложенных результатов можно сделать вывод, что данные по электропроводности за фронтом инициирующей ударной волны, получаемые методом зондов, не находятся (по крайней мере, для твердых физически неоднородных ВВ) в соответствии с гидродинамическими изменениями, которые происходят вследствие тепловыделения в ударно-сжатом веществе. Следовательно, без дополнительных исследований эти данные трудно использовать для развития соображений о процессах энерговыделения, определяющих истинную картину формирования нормальных детонационных режимов при воздействии на вещество ударными волнами.

Поступила в редакцию  
17/XI 1971

#### ЛИТЕРАТУРА

1. W. R. Marlow, I. C. Skidmore. Proc. Roy. Soc. 1959, A246, 285.
2. A. W. Campbell, W. C. Davis, J. B. Ramsay and J. R. Graves. J. Phys. Fluids, 1961, 4, 4, 511.
3. А. Н. Дремин, С. А. Колдунов. Сб. «Взрывное дело», № 63/20. М., «Недра», 1967.
4. И. В. Бабайцев, Б. Н. Кондриков, З. В. Паукова, В. Ф. Тышевич. ФГВ, 1969, 5, 3.
5. A. C. Mitchell, R. N. Keeler. Rev. Scient. Instrum. 1968, 39, 513.
6. А. Н. Дремин, С. А. Колдунов, К. К. Шведов. ФГВ, 1971, 7, 1.
7. А. А. Бриш, М. С. Тарасов, В. А. Цукерман. ЖЭТФ, 1960, 37, 1.
8. А. Н. Гальперин, К. К. Шведов. ЖФХ, 1963, 38, 5.
9. В. Hayes. 10-th Symposium (International) on Combustion, 1965.
10. А. Г. Иванов, Ю. Н. Тюняев, В. Н. Минеев, Ю. В. Лисицин, Е. З. Новицкий. ФГВ, 1969, 5, 3.