

Сравнивая среднее рекомбинационное время жизни ионов в чистом пламени, горящем при атмосферном давлении, и в пламени с присадками металлов, видим, что $\tau_{\text{рек}}$ есть величина одного и того же порядка. К такому же выводу приходит автор работы [8].

Таким образом: 1) с увеличением давления скорость ионизации в зоне реакции разреженного углеводородо-воздушного пламени увеличивается примерно пропорционально квадрату давления, коэффициент рекомбинации не меняется и равен $(1 \div 2,5) \cdot 10^{-7} \text{ см}^3 \cdot \text{сек}^{-1}$ и средняя продолжительность жизни ионов уменьшается пропорционально давлению, т. е. $q \sim p^2$, $\alpha \neq f(p)$ и $\tau \sim 1/p$; 2) в пламени с присадками щелочных металлов, свинца и висмута в небольших количествах (менее 0,01% от общего количества атомов в пламени) основным процессом образования ионов является хемиионизация в зоне реакции. Увеличение концентрации положительных ионов и средней продолжительности их жизни в разреженных пламенах с присадками металлов связано с замедлением распада плазмы пламени.

Поступила в редакцию
5/II 1968

ЛИТЕРАТУРА

1. Э. Н. Таран, В. И. Твердохлебов. Теплофиз. выс. температур, 1966, 4, 2, 160.
2. Э. Н. Таран, В. И. Твердохлебов. Сб. «Физика горения». Киев, «Наукова Думка», 1966.
3. Э. Н. Таран, В. И. Твердохлебов. Матер. V Рижского совещ. по магнитной гидродинамике. Т. 15, 54. Рига, 1966.
4. В. С. Россихин, Н. А. Нестерко. ЖФХ, 1957, XXXI; 12, 2063.
5. А. С. Соколик, Е. С. Семенов. Сб. «Низкотемпературная плазма». М., «Мир», 1967.
6. В. С. Россихин, А. К. Протопопов и др. Ученые зап. ДГУ. Т. II, № 9, 1953.
7. H. F. Calcote, S. C. Kurzius and W. J. Miller. 10-th Symposium (International) on Combustion. The Combustion Institute, I, 1965.
8. Н. А. Нестерко. Изв. вузов, сер. физ., 1964, 4, 17.
9. А. Хейхорст, Т. Сагден. Сб. «Низкотемпературная плазма». М., «Мир», 1967.
10. Э. Н. Таран, В. И. Твердохлебов. Теплофиз. выс. температур, 1968, 6, 1, 14.

УДК 662.215.4 + 532.593

ИНИЦИИРОВАНИЕ ДЕТОНАЦИИ УДАРНЫМИ ВОЛНАМИ В НАСЫПНЫХ ЗАРЯДАХ ВВ

А. Н. Дремин,
С. А. Колдунов, К. К. Шведов
(Москва)

Для развития правильных представлений о механизме инициирования детонации ударной волной наряду с данными об измерении параметров ударного фронта в переходной области важна информация о процессах за ударным фронтом.

В частности, определение электромагнитным методом профиля массовой скорости ударной волны $u(t)$ по всей глубине ее развития в детонационную в конденсированных ВВ [1—3] позволило установить ряд существенных моментов.

Было доказано [1], что распространяющийся за фронтом инициирующей ударной волны в некоторых жидких ВВ вторичный процесс является детонационным. Подобных вторичных процессов не наблюдается при инициировании литых (начальная плотность $\rho_0 = 1,62 \text{ г/см}^3$ и прессованных ($\rho_0 = 1,59 \text{ г/см}^3$) зарядов тротила [2, 3].

В таких зарядах параметры ударного фронта растут плавно на всем участке развития волны в детонационную. В этих экспериментах было также показано, что структура заряда (литого, прессованного) при равных условиях инициирования влияет не только на пределы возбуждения и особенности роста параметров ударной волны до детонационных значений, но и на характер изменения профиля на начальных стадиях развития процесса.

Вид переходного профиля $u(t)$ при прочих равных условиях в основном должен определяться тепловыделением. Поэтому различие в профиле является доказательством влияния исходной макроструктуры заряда на тепловыделение за ударным фронтом.

Основная цель настоящей работы — выяснить общую картину формирования детонационной волны из ударной в зарядах малой (насыпной) плотности, а также получить некоторые данные о влиянии на этот процесс размера зерна, небольших изменений плотности ρ_0 инициируемых зарядов и энергетики взрывчатого вещества.

Описание эксперимента

Изучение процесса инициирования проводилось на тротиле и тетриле. Иницируемое ВВ засыпалось в тонкую картонную оболочку диаметром 60 мм. Исследовались порошкообразные заряды тротила с плотностью $\rho_0 = 1 \text{ г/см}^3$ и размерами зерен $\delta = 0,37\text{—}1 \text{ мм}$ и $\delta \approx 0,1 \text{ мм}$, а также заряды с плотностью $\rho_0 = 0,78 \text{ г/см}^3$ ($\delta \approx 0,1 \text{ мм}$).

Фракция с размером зерна $\delta = 0,37\text{—}1 \text{ мм}$ получена дроблением стандартного «чешуированного» тротила и просеиванием через сита соответствующих размеров. Фракция с преимущественным размером зерна $\delta \approx 0,1 \text{ мм}$ приготовлена также из «чешуированного» ТНТ длительным помолом. Исследуемые заряды тетрила готовились из фракции с преимущественным размером зерна $\delta \approx 0,15 \text{ мм}$ засыпкой до плотности $\rho_0 = 0,82 \text{ г/см}^3$.

Ударные волны треугольного профиля с длительностью по времени 8—10 мксек генерировались активным зарядом длиной 130 мм и диаметром 80 мм, который состоял из двух таблеток, спрессованных из смеси тротила с тальком, и взрывной линзы, создающей плоский фронт.

Для отсечки продуктов взрыва и ослабления ударной волны между активным и пассивным (инициируемым) ВВ помещалась пластина из плексигласа толщиной 20 мм. Различная интенсивность ударных волн достигалась изменением процентного содержания талька в смеси и плотности активного заряда.

Несмотря на использование взрывной линзы, фронт инициирующей ударной волны не был плоским и искривлялся уже в активном заряде. Это связано, видимо, с конечными размерами заряда и детонационной способностью используемых смесей ТНТ с тальком. В центральной области заряда диаметром 30—20 мм ударный фронт можно считать плоским.

В эксперименте по всей глубине развития ударной волны в детонационную электромагнитным методом записывался профиль $u(t)$ и измерялась скорость ударного фронта D . Для этого электромагнитный датчик устанавливался в инициируемом заряде на различных глубинах (рассто-

ниях l от границы раздела плексиглас — ВВ). На основании полученных осциллограмм $u(t)$ были замерены значения массовой скорости на ударном фронте u_ϕ и построены кривые изменения этого параметра по глубине l в инициируемом заряде. Значения u_ϕ получались экстраполяцией осциллограмм $u(t)$ к моменту начала записи (движения электромагнитного датчика).

Для измерения скорости фронта использовался ступенчатый электромагнитный датчик. Расстояние между ступеньками служило базой измерения. В наших экспериментах минимальная база составляла 3 мм. Экспериментальные кривые $u_\phi(l)$ и $D(l)$ позволяют расчетным путем получить зависимости изменения давления на ударном фронте по глубине развития $p(l)$.

Влияние величины начального (входного) давления $p_{вх}$ инициирующей ударной волны на характер и продолжительность ее перехода в детонационную изучалось на зарядах тротила с плотностью $\rho_0 = 1 \text{ г/см}^3$ ($\delta = 0,37\text{—}1 \text{ мм}$). Заряды подвергались воздействию следующих амплитуд: 25; 11,5 и 8 кбар.

Зависимости $u_\phi(l)$ и $D(l)$ были получены лишь для $p_{вх} = 11,5 \text{ кбар}$. Для остальных давлений проводилось только измерение $u(t)$. С целью выяснения влияния размера зерна на переходные процессы были измерены профили $u(t)$ по глубине при воздействии ударной волны с $p_{вх} = 11,5 \text{ кбар}$ на заряды тротила с размером зерна $\delta = 0,1 \text{ мм}$. Кроме того, при этом же размере зерна были получены кривые $u_\phi(l)$ и $D(l)$ в зарядах ТНТ с плотностью $\rho_0 = 0,7 \text{ г/см}^3$ для давлений $p_{вх} = 9 \text{ кбар}$.

Аналогичные измерения выполнялись в зарядах тетрила ($\rho_0 = 0,82 \text{ г/см}^3$) при давлениях $p_{вх} = 9 \text{ кбар}$.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Типичные осциллограммы записей профиля массовой скорости $u(t)$, полученные в зарядах тротила и тетрила на различных расстояниях l от границы раздела, приводятся на рис. 1. Во всех случаях амплитуда

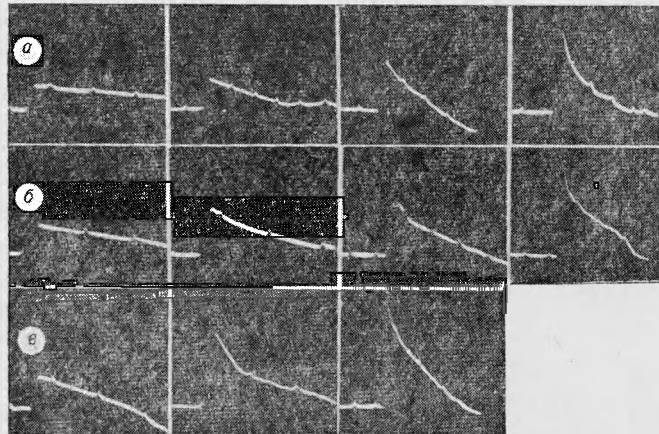


Рис. 1. Запись профиля массовой скорости $u(t)$ по глубине l при развитии ударной волны в детонационную.

а) в тротиле: $\rho_0 = 1 \text{ г/см}^3$, $\delta = 0,37\text{—}1 \text{ мм}$, $p_{вх} = 11\text{—}11,5 \text{ кбар}$, $l = 0,4$; 24 и 50 мм; б) в тротиле: $\rho_0 = 0,78 \text{ г/см}^3$, $\delta = 0,1 \text{ мм}$, $p_{вх} = 9 \text{ кбар}$, $l = 0,4$; 12 и 38 мм; в) в тетриле: $\rho_0 = 0,82 \text{ г/см}^3$, $\delta = 0,15 \text{ мм}$; $p_{вх} = 9 \text{ кбар}$, $l = 0,8$ и 16 мм.

Метки времени через 2 мксек.

падающей ударной волны (давление в плексиглазе) была одинаковой. Давление же в самих исследуемых зарядах ($p_{вх}$) несколько отличалось из-за различий в значении ρ_0 .

В других вариантах эксперимента (различные $p_{вх}$, σ) характер изменения профиля $u(t)$ с глубиной оставался качественно подобным данным, приводимым на рис. 1.

Таким образом, в исследуемых насыпных зарядах независимо от начальной плотности, размера зерна и амплитуды $p_{вх}$ профиль $u(t)$ при развитии ударной волны в детонационную на любой глубине остается спадающим: наибольшее значение массовой скорости имеет место на ударном фронте. В то же время, как было показано раньше [2, 3], в литом ТНТ исходный треугольный профиль ударной волны трансформировался в профиль с «полкой» (за ударным фронтом значение u некоторое время оставалось постоянным), а в прессованном ($\rho_0 = 1,59 \text{ г/см}^3$) — в профиль с «горбом» (массовая скорость в волне превышала значение на ударном фронте u_{ϕ}). Подобные изменения наблюдались, начиная с минимальных интенсивностей ударных волн, еще способных развиваться в детонационную, и несколько выше.

По макроструктуре порошкообразные заряды ближе к прессованным, поэтому ожидалось, что при инициировании насыпных зарядов также будет зарегистрирован профиль $u(t)$ с «горбом». Заметим, однако, что в настоящей работе, несмотря на малые величины $p_{вх}$ по сравнению с детонационными давлениями, предельной амплитуды для исследуемых насыпных зарядов все-таки достигнуто не было.

Результаты измерений в переходной области массовой скорости u_{ϕ} и волновой скорости D графически представлены на рис. 2, 3, 4. Точки на графиках представляют усредненные значения из 3—5 измерений, вы-

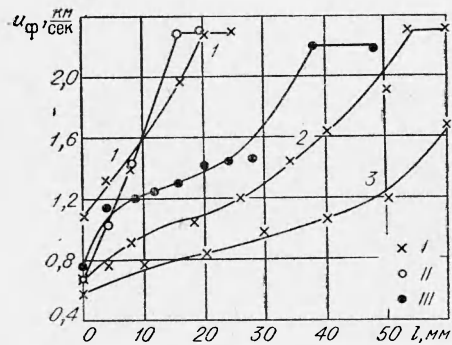


Рис. 2. Результаты измерений массовой скорости на ударном фронте по глубине в тротиле.

I — $\rho_0 = 1 \text{ г/см}^3$, $\delta = 0,37-1 \text{ мм}$; II — $\rho_0 = 1 \text{ г/см}^3$, $\delta \approx 0,1 \text{ мм}$, $p_{вх} = 11,5 \text{ кбар}$; III — $\rho_0 = 0,78 \text{ г/см}^3$, $p_{вх} = 9 \text{ кбар}$.
I — $p_{вх} = 25 \text{ кбар}$; 2 — $p_{вх} = 11,5 \text{ кбар}$; 3 — $p_{вх} = 8 \text{ кбар}$ (измерения прекращены на глубине $l > 60 \text{ мм}$).

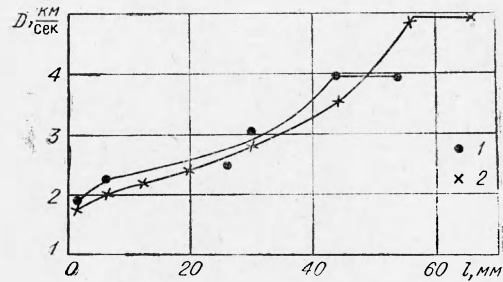


Рис. 3. Результаты измерения скорости ударного фронта по глубине в тротиле.

1 — $\rho_0 = 0,78 \text{ г/см}^3$, $p_{вх} = 9 \text{ кбар}$; 2 — $\rho_0 = 1 \text{ г/см}^3$, $p_{вх} = 11,5 \text{ кбар}$.

полненных на одной глубине. При этом максимальные расхождения данных в серии опытов на одной глубине вблизи места входа ударной волны не превышали 5% при измерении u_{ϕ} и 10% — при измерении D . Однако при постановке датчика на более дальних глубинах расхождение возрастало и на глубинах, на которых параметры непосредственно приближались к детонационным, могло достигать 15%.

При инициировании такой разброс возможен из-за влияния на продолжительность перехода ударной волны в нормальную детонацию не-

значительных изменений от опыта к опыту начальных условий инициирования (например, плотности ρ_0 активного и пассивного зарядов, толщины инертной преграды и т. д.). В области непосредственного достижения параметров детонации и окончательного формирования детонационного профиля возможен разброс, вносимый экстраполяцией при обсчете осциллограмм $u(t)$, из-за возрастающей на этих глубинах крутизны спада $u(t)$ сразу за ударным фронтом.

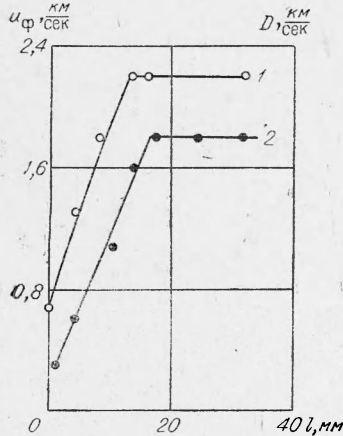


Рис. 4. Результаты измерений u_f и D в тетриле $\rho_0 = 0,82 \text{ г/см}^3$, $\delta = 0,15 \text{ мм}$, $p_{вх} = 9 \text{ кбар}$.
1 — кривая $u_f(l)$; 2 — кривая $D(l)$.

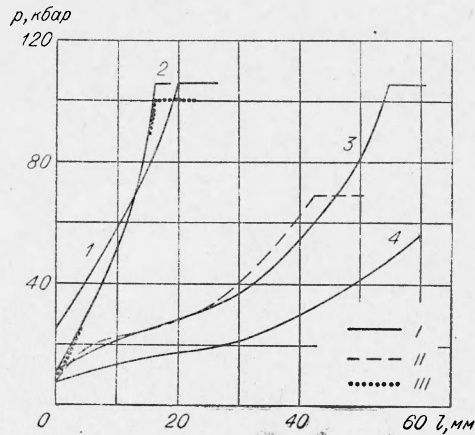


Рис. 5. Кривые измерения по глубине давления во фронте ударных волн, развивающихся в детонацию.

Размер зерна, мм: 1 — 0,37—1; 2 — 0,1; 3 — 0,37—1; 4 — 0,37—1, I — ТНТ, $\rho_0 = 1 \text{ г/см}^3$; II — ТНТ, $\rho_0 = 0,78 \text{ г/см}^3$; III — тетрил, $\rho_0 = 0,82 \text{ г/см}^3$.

На основании экспериментальных кривых по значениям u_f и D , взятым на соответствующих расстояниях l , была получена связь между u_f и D , которая с точностью $\pm 10\%$ (вблизи детонационных значений $\pm 15\%$) описывается следующими линейными зависимостями:

$$D = (0,3 + 1,85 u) \text{ км/сек} \quad \text{для ТНТ, } \rho_0 = 1 \text{ г/см}^3;$$

$$D = (0,3 + 1,55 u) \text{ км/сек} \quad \text{для ТНТ, } \rho_0 = 0,78 \text{ г/см}^3;$$

$$D = (0,37 + 1,9 u) \text{ км/сек} \quad \text{для тетрила, } \rho_0 = 0,82 \text{ г/см}^3.$$

Эти зависимости использовались для расчета давлений $p_{вх}$ и построения кривых $p(l)$ по одному экспериментально определяемому параметру u_f . Полученные таким образом зависимости для всех исследуемых зарядов и интенсивностей инициирующих ударных волн приводятся на рис. 5.

Из кривых роста параметров ударного фронта $u_f(l)$, $D(l)$ и $p(l)$ (см. рис. 3, 4, 5) видно, что исходная ударная волна в насыпном заряде независимо от его плотности и размера зерна усиливается непосредственно от места входа при всех используемых в настоящей работе амплитудах. Отсюда следует, что за ударным фронтом сразу происходит энерговыделение.

Полученные данные об изменении профиля $u(t)$ в переходной области позволяют сделать дополнительный важный вывод об этом энерговыделении в ударной волне.

Во всем интервале роста параметров всегда регистрировался опадающий профиль $u(t)$. С гидродинамической точки зрения этот результат

означает, что энерговыделение сразу за ударным фронтом оказывается всегда наиболее интенсивным по сравнению с последующим разложением вещества в ударной волне.

Как показывает эксперимент, увеличение интенсивности инициирующей ударной волны приводит к сокращению области перехода в детонацию (см. рис. 2, 1, 2, 3). Это сокращение, очевидно, связано с увеличением скорости энерговыделения при разложении ВВ под действием ударной волны большей интенсивности. При одинаковой же амплитуде воздействия глубина развития ударной волны в детонационную в тротиле зависит от размера исходного зерна и меньше в том заряде, в котором размер зерна меньше (см. рис. 2, 2). Этот результат, указывая на очаговый характер разложения твердых ВВ в ударной волне малой амплитуды, позволяет предположить, что определенную роль в возникновении начальных очагов разложения играют процессы, происходящие на поверхности зерен (разогрев в местах контакта зерен и истечения ВВ, кондуктивный прогрев и воспламенение зерен ВВ разогретыми до высокой температуры газовыми включениями и др.).

В работе [4] было показано, что во фронте ударной волны даже сравнительно слабой интенсивности (2—3 кбар) происходит сильное дробление зерен ВВ. В этом случае возникает вопрос о диссипативных процессах (о разогреве), сопровождающих разрушение исходного зерна при ударном сжатии. В частности, в какой степени эти процессы могут привести к возникновению эффективных очагов реакции.

Возможно также, что влияние начального размера зерна на глубину переходной области обусловлено газодинамическими факторами. Так, например, в нормальной детонации твердых ВВ время реакции почти не изменяется при значительном увеличении исходного размера зерна или отсутствия воздуха в порах [5]. Но при переходе детонации из заряда малого диаметра в большой в последнем наблюдается более быстрое сокращение плоского участка поверхности детонационного фронта в зарядах с большим размером зерна [6].

Для доказательства справедливости концепции поджигания зерен ВВ разогретыми газовыми включениями часто используется известный факт увеличения чувствительности к механическим воздействиям с уменьшением плотности заряда. Казалось бы, в этой связи по мере уменьшения плотности заряда ρ_0 следовало ожидать более сильный рост параметров ударного фронта и сокращения длины переходной области.

Для выяснения влияния величины ρ_0 в области малых плотностей на развитие ударной волны в детонационную в настоящей работе изучались переходные процессы в зарядах ТНТ плотностей 1 и 0,78 г/см³ с размером зерна $\delta \approx 0,1$ мм. Ударная волна создавалась одним и тем же генератором, поэтому падающее давление (давление в плексиглазе) было одним и тем же. Давления непосредственно в зарядах ($p_{вх}$) несколько отличались из-за различий в значении ρ_0 и по нашим данным составляли 11,5 кбар в заряде с $\rho_0 = 1$ г/см³ и 9 кбар в заряде с $\rho_0 = 0,78$ г/см³. Оказалось (см. рис. 2 и 5), что на всем участке развития волны в полноценную детонацию прирост давления на ударном фронте с глубиной l в заряде с $\rho_0 = 0,78$ г/см³ был всегда меньше и глубина перехода возросла приблизительно в два раза по сравнению с соответствующей величиной в заряде с плотностью 1 г/см³. Если исходить только из этих результатов и судить по глубине переходной области о чувствительности ВВ к ударной волне, то заряд с $\rho_0 = 1$ г/см³ следовало бы считать более чувствительным, чем заряд с начальной плотностью 0,78 г/см³. Однако для того, чтобы судить о влиянии на чувствительность к ударной волне уменьшения плотности зарядов (в частности от 1 до 0,78 г/см³), полученной

информации недостаточно. Здесь, во-первых, следует заметить, что имеется хотя и малое, но отличие в начальном давлении $p_{вх}$ в зарядах указанных выше ρ_0 .

Кроме того, ясно, что с ростом параметров и продолжительности развития исходной ударной волны в детонационную важную роль наряду с принципиальной возможностью и легкостью возбуждения химической реакции в веществе при ударном сжатии должны играть газодинамические процессы (разрежение, сжатие). Эти процессы влияют на развитие энерговыделения в волне и на передачу энергии ударному фронту. Их конкретное влияние может быть самым различным в зависимости от условий эксперимента (диаметра заряда, интенсивности и профиля ударной волны и др.), структуры и газодинамических свойств вещества до и после ударного нагружения, теплоты и скорости разложения.

В обычных условиях эксперимента (малые диаметры зарядов, конечное время прохождения ударной волны) при плавном и достаточно продолжительном развитии ударной волны в детонационную, характерном для твердых ВВ, радиальное и осевое разрежение непрерывно сопровождает преддетонационный процесс. Это разрежение определенно накладывает отпечаток на развитие детонации, который во многом еще не поддается количественному и качественному контролю.

В этой связи продолжительность переходного участка, несмотря на внешние воздействия (неизменный генератор ударной волны), вообще следует использовать с осторожностью для относительной оценки чувствительности к ударным волнам зарядов различной структуры и ВВ.

Так, в малоплотных зарядах продолжительность перехода в детонацию оказывается существенной, несмотря на развитие реакции сразу за фронтом и непрерывность роста интенсивности ударной волны при давлениях p_v , значительно (на порядок) отличающихся от детонационных. В данном случае можно сделать вывод, что, несмотря на возрастающую легкость возбуждения химического процесса сразу за ударным фронтом, с уменьшением плотности ρ_0 возрастают также и потери, что, вероятно, связано с большей по сравнению с высокоплотным ВВ легкостью разброса вещества в малоплотных зарядах продуктами распада. Последнее вполне допустимо, учитывая малые давления сжатия (соответственно и плотности), при которых может возникнуть разложение в малоплотных зарядах. На это указывают также результаты работы [7], в которой инициировались азидом свинца малоплотные порошкообразные заряды в металлической оболочке и было обнаружено, что возбуждение детонации затрудняется по мере увеличения диаметра инициируемого заряда.

С гидродинамическими процессами, вероятно, прежде всего следует связывать замедление в нарастании параметров ударного фронта с глубиной, наиболее отчетливо наблюдаемое в зарядах тротила с плотностью $\rho_0 = 0,78 \text{ г/см}^3$ (см. рис. 2 и 5). В частности, возможно, что при инициировании таких малоплотных зарядов материал границы раздела (плексиглас) может служить вблизи места входа волны поршнем, сдерживающим осевую разлет продуктов, обеспечивая наиболее полное в данных условиях поступление энергии на ударный фронт. В дальнейшем с отходом ударного фронта и прилегающей к нему области наиболее бурного энерговыделения от плексигласа эта поддержка уменьшается. Кроме того, усиливается неблагоприятное влияние бокового разрежения на энерговыделение и усиление ударного фронта.

Укажем также на следующий факт. На участке замедленного роста параметров записывается детонационный по характеру профиль (на записи $u(t)$ регистрируется пик (см. рис. 1, б) $l = 12 \text{ мм}$, при параметрах ударного фронта, еще много меньших детонационных), поэтому, возмож-

но, на этих глубинах складываются условия для установления некоторого квазистационарного промежуточного режима, в итоге затягивающего переход в нормальную детонацию.

При исследовании переходного режима в насыпных зарядах из тетрила (вещества более мощного, чем тротил) характер изменения профиля $u(t)$ по глубине подобен соответствующим изменениям в зарядах тротила. Но в тетриле, как следует из кривых $p(l)$ на рис. 4, при близких начальных плотностях и практически равных условиях инициирования прирост амплитуды ударного фронта с глубиной проходит интенсивнее и сокращается область перехода.

Совпадение кривых $p(l)$ у тетрила ($\rho_0=0,82 \text{ г/см}^3$ и $\rho_0=1 \text{ г/см}^3$), начиная с глубины $l=4 \text{ м}$ следует, конечно, считать случайным и происшедшим заведомо по разным причинам. Несомненно, в тетриле ($\rho_0=1 \text{ г/см}^3$) следует ожидать меньшую продолжительность перехода, чем в тротиле этой же плотности.

При очаговом разложении вещества (в случае малых амплитуд) сразу за фронтом более интенсивный рост параметров с глубиной и сокращение переходной области в тетриле, по-видимому, связаны с большей теплотой его разложения по сравнению с тротилом на всем участке перехода в детонацию, что при прочих равных условиях обеспечивает большую энергетическую поддержку ударного фронта.

Результаты настоящей работы и работ [2, 3] позволяют сделать некоторые выводы относительно общей картины формирования детонационной волны в физически неоднородных твердых ВВ при воздействии на них ударными волнами с давлениями, на порядок или в несколько раз меньшими детонационных значений.

Для всех исследованных структур зарядов твердого ВВ (насыпных, прессованных, литых) характерно плавное и достаточно продолжительное нарастание параметров ударного фронта инициирующей волны до детонационных. Конкретный ход кривых, отражающих рост параметров с глубиной, и протяженность переходной области зависят от амплитуды ударного воздействия, от структуры заряда, а также должны зависеть от размеров заряда, наличия и свойств оболочки.

В зависимости от структуры заряда на начальных стадиях (глубинах) развития процесса характерное изменение исходного профиля $u(t)$ оказывается различным. Однако по мере возрастания амплитуды ударной волны с глубиной качественное отличие переходного профиля $u(t)$ в различных по структуре зарядах пропадает. В любом случае еще до достижения детонационных параметров профиль $u(t)$ обязательно становится спадающим, т. е. наиболее интенсивное энерговыделение происходит сразу за фронтом. Далее формируется «химпик» нормального детонационного режима.

Такая картина формирования детонационной волны говорит о том, что энерговыделение в веществе находится в постоянной зависимости от интенсивности ударного фронта. Увеличение амплитуды ударной волны в процессе ее развития в детонационную должно приводить, по-видимому, к увеличению как числа очагов разложения (общей массы реагирующего вещества), так и интенсивности разложения в них. Как и почему это происходит, до сих пор не совсем ясно. Несмотря на неоднократно высказываемые возможные причины локальных разогревов при ударном сжатии неоднородных твердых ВВ [8 и др.], необходимы работы в направлении выяснения природы очагов разложения, возникающих под воздействием ударных волн, а также кинетики разложения вещества в очаге реакции в условиях, созданных ударным сжатием.

Поступила в редакцию
4/1 1970

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Н. Дремин, С. Д. Савров, А. Н. Андриевский. Научно-технические проблемы горения и взрыва, 1965, 1, 2.
2. А. Н. Дремин, С. А. Колдунов, К. К. Шведов. ПМТФ, 1963, 6.
3. А. Н. Дремин, С. А. Колдунов. Сб. «Взрывное дело», № 63/20, «Недра», 1967.
4. Е. А. Александров, В. А. Веретенников и др. ФГВ, 1968, 4, 3.
5. Е. А. Александров, В. А. Веретенников и др. ФГВ, 1967, 3, 4.
6. В. А. Веретенников. Канд. дисс. ИХФ АН СССР. М., 1969.
7. А. М. Гольдбиндер, Л. М. Светлова. Докл. АН СССР, 1962, 192.
8. S. Jacobs, T. Liddiard, B. Grimmer. 9-th Symposium (International) on Combustion, Ac. Pres., 1963.

УДК 534.222.2 + 662.217

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ДЕТОНАЦИИ ВВ, СОДЕРЖАЩИХ МЕТАЛЛЫ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

Л. Н. Стесик
(Москва)

В предлагаемой работе изложены результаты расчета параметров детонации смесей ВВ с металлами. Основное внимание уделено составам с алюминием, поскольку он довольно широко используется в промышленных ВВ [1]. Кроме этого, рассмотрены смеси с бериллием и бором.

Широкое использование алюмосодержащих ВВ в промышленности обусловило интерес к ним со стороны исследователей. В ряде работ были изучены взрывчатые характеристики различных составов с алюминием [1—6]. В результате этих исследований было установлено, что добавление алюминия к мощным вторичным ВВ с нулевым или отрицательным кислородным балансом (тротил, гексоген, амматол и др.) или к нитрату аммония, как правило, существенно увеличивает работоспособность этих ВВ [1, 6]. Бризантность или импульс детонационной волны, измеренные с помощью столбиков Гесса [1] или бризантометра Каста [5], в некоторых пределах содержания алюминия во вторичных ВВ остаются неизменными. Скорость детонационной волны во вторичных ВВ и давление на ее фронте уменьшаются [2, 4, 5]. Увеличение скорости детонации наблюдается в смесях алюминия с нитратом аммония [1, 2].

Объясняя понижение скорости детонации вторичных ВВ при добавлении к ним алюминия, авторы выдвигают следующие возможные причины.

1. Уменьшение показателя политропы в уравнении состояния продуктов детонации, вызванное наличием в них конденсированной фазы (Al_2O_3) [1].

2. Образование в детонационной волне главным образом низших оксидов алюминия (Al_2O , AlO) в газообразном состоянии, сопровождающееся незначительным тепловыделением [3, 4].

3. Неполное превращение алюминия в зоне химической реакции детонационной волны вследствие малой скорости окисления частиц металла по сравнению с разложением основного ВВ [1].