

ваться меньше, чем для случаев ее возникновения на границе раздела, т. е. в случае, если для возбуждения детонации жидкого и твердого ВВ требуются ударные волны одинаковой интенсивности, то влияние боковых волн разрежения будет меньше сказываться для твердых ВВ.

Поступила в редакцию
4/III 1969

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Н. Дремин, С. Д. Савров, А. Н. Андриевский. Научно-технические проблемы горения и взрыва, 1965, 2.
2. A. W. Campbell, W. C. Davis a. o. Phys. fluids, 1961, 4, 4, 511.
3. A. W. Campbell, W. C. Davis, J. R. Travis. Phys. fluids, 1961, 4, 4, 498.
4. Г. С. Соснова, В. М. Богомолов и др. ФГВ, 1968, 4, 2.
5. S. J. Jacobs, T. P. Liddiard, B. E. Drimmer. 9-th Symposium (International) on Combustion, 1962, p. 512.

УДК 662.215.1+662.217.7

ВЛИЯНИЕ ВОДЫ НА КРИТИЧЕСКИЙ ДИАМЕТР РАСПЛАВЛЕННОГО МОНОНИТРАТА ГИДРАЗИНА (ГИДРАЗОНИЯ)

Р. Х. Курбангалина, Н. Н. Тимохин
(Москва)

Проблема критического диаметра (d_*), обеспечивающего устойчивую детонацию конденсированного взрывчатого вещества, рассматривалась во многих работах. Несмотря на то, что в них были высказаны интересные предположения, в настоящее время еще не имеется формулы, по которой можно было бы предсказать точную величину d_* для того или иного ВВ. Поэтому приходится по мере необходимости и возможности определять d_* экспериментально.

В работе [1] рассматривался возможный путь изменения d_* при разбавлении жидкого ВВ инертной жидкостью и была выведена формула для критического диаметра d'_* системы жидкое ВВ — невзрывчатый растворитель:

$$d'_* = \alpha d_* \exp \left[\left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \right) A/RT \right], \quad (1)$$

где d'_* — критический диаметр смеси; d_* — критический диаметр чистого исходного ВВ; α — весовая доля жидкого ВВ в смеси; A — энергия активации; T — температура в ударно сжатом слое при детонации исходного ВВ. По этой формуле d'_* должен резко возрастать уже от незначительного разбавления жидкого ВВ инертным растворителем. При вы-

ведении формулы (1) предположено, что температура T' в ударно сжатом слое смеси связана с температурой T линейно, т. е. $T' = \alpha T$. Такая линейная зависимость может, по-видимому, иметь место лишь при удачном выборе растворителя, т. е. когда теплоемкость и сжимаемость смеси и чистого ВВ близки в условиях фронта детонационной волны. Такое требование на практике не всегда выполнимо. Поэтому при оценке величин d_* по формуле (1) надо более точно знать характер связи T' с T и в соответствии с ним внести поправку в формулу (1). К сожалению, из-за отсутствия термодинамических характеристик при высоких давлениях и температурах пока нет надежной расчетной и экспериментальной методики оценки T и T' . В последние годы появились работы [2, 3] по экспериментальному определению температуры ударно сжатых жидкостей. Они проведены с невзрывчатыми жидкостями при сравнительно низких давлениях [3]. И экспериментальное, и расчетное определения температуры в сжатом фронтом детонационной волны слое жидкого ВВ сильно осложняются тем, что (по работам [4, 5]) фронт детонационной волны в смесях жидкое ВВ — растворитель, а также и в некоторых чистых жидких ВВ неоднороден.

Не менее серьезным является вопрос об инертности растворителя. При строгом подходе трудно найти абсолютно инертные растворители. Ими могут быть вещества, которые не претерпевают фазовых превращений в ударном фронте детонационной волны, не влияют на кинетику химического превращения исходного жидкого ВВ, и тепловыделение их в результате разложения или реакции с продуктами взрыва ВВ должно происходить за зоной реакции (за точкой Чэпмена — Жуге). Когда в качестве инертного растворителя используются органические соединения, инертное поведение их [6] почти всегда находится под сомнением, так как они менее устойчивы при высоких температурах, могут влиять на кинетику химической реакции исходного ВВ. Представляет интерес исследовать зависимость критического диаметра от содержания инертного растворителя на обычных взрывчатых жидкостях, выбрав в качестве инертного растворителя воду. Так как вода практически нерастворима в обычных жидких ВВ, было решено провести такое исследование с системой неорганическое ВВ — вода.

Следует заметить, что в определенных условиях и вода может быть неинертной. Например, в работе [2] указывается оледенение воды, т. е. фазовый переход в ударной волне. Это обстоятельство, особенно при значительном содержании воды в ВВ, может повлиять на механизм воспламенения ВВ во фронте детонационной волны. Не исключена возможность влияния воды на химическое равновесие в зоне реакции и т. д. Несмотря на возможность неинертного поведения воды в смесях с ВВ, исследование влияния воды на d_* жидкого ВВ представляет и теоретический и практический интерес. В работе [6] исследовалось влияние воды на d_* стехиометрической смеси азотная кислота — нитробензол 78/22. Было установлено, что d_* смеси резко растет по мере повышения содержания воды (например, d_* смеси, содержащей 20% воды, в 16 раз больше критического диаметра исходной безводной смеси). Поскольку в смесевых ВВ инертная добавка может (особенно при значительных содержаниях ее) кроме понижения температурных характеристик затруднить взаимодействия окислителя или продуктов разложения ее с горючим, данные, полученные на смесевых ВВ, нельзя без проверки распространять на гомогенные (по составу) жидкие ВВ.

В настоящем исследовании в качестве гомогенного жидкого ВВ был выбран расплавленный моонитрат гидразина $N_2H_4HNO_3$ (МНГ). Температура плавления МНГ около $70^\circ C$; в связи с этим обстоятельством

опыты проводились при 75°С. Термохимические данные о МНГ даны в [7]. Взрывчатые свойства порошкообразного МНГ описаны в работах [8, 9]. Возможная теплота взрыва твердого МНГ равна ~ 916 ккал/кг, объем газов взрыва ~ 1000 л/кг (вода — пар).

При проведении исследований было обнаружено, что расплавленный МНГ и водные растворы его способны к детонации с разными скоростями: с высокой (нормальной) скоростью порядка 8 км/сек и с низкой — порядка 2 км/сек. В [6, 10] было установлено, что при прочих равных условиях величины критических диаметров для детонации в разных режимах различны и разбавление жидких ВВ невзрывчатыми жидкостями сказывается на величине d_* для детонации с низкими скоростями гораздо слабее, чем на d'_* для детонации с высокой скоростью.

Основное внимание в опытах обращалось на характер изменения d_* МНГ от содержания воды при детонации с нормальной скоростью. Величины d_* определялись обычным способом в длинных стеклянных трубках при двойном (по деформации стальной пластинки и по фотохронографу) контроле прохождения детонации. Начальная температура жидкости в заряде контролировалась двумя термopарами и поддерживалась на необходимом уровне путем подогрева.

Результаты экспериментальных данных нанесены на рис. 1 в координатах диаметр заряда — содержание воды (или растворителя) в смеси в процентах по весу (q). Знаки +, —, X и кривая 3 относятся к мононитрату гидразина и его водных растворов. Знак + соответствует прохождению детонации с высокой скоростью; знак X означает «излом» — переход детонации с нормального режима в низкорегимную; обычно такое явление «излома» имеет место, когда диаметр заряда ниже d_* для детонации с высокой скоростью. Знаками минус отмечены случаи отсутствия любой детонации. Кривая 3 представляет характер изменения критического диаметра МНГ в зависимости от содержания воды. Если диаметр заряда системы МНГ — вода какого-то состава находится в области кривой 3 или выше ее (при соответствующем составе), то в системе возможно распространение детонации с нормальной (высокой) скоростью; если же диаметр заряда находится в области ниже кривой 3, то устойчивой детонации с высокой скоростью не будет, но еще возможно распространение детонации с низкой скоростью.

Пределы (по диаметру) распространения детонации с низкой скоростью для водных растворов МНГ в данной работе не исследовались. Учитывая особенности механизма распространения детонации с низкой скоростью [11], можно ожидать два предела: верхний и нижний. Верхний предел совсем не исследован ни для каких ВВ. Что же касается нижнего предела, то, исходя из данных работ [6, 10], из настоящей работы можно сделать вывод, что величина d_* при детонации с низкими скоростями для смесей жидкое ВВ — невзрывчатый растворитель всегда ниже величины d'_* для детонации с высокой скоростью.

Из хода кривой 3 (рис. 1) видно, что критический диаметр (для детонации в нормальном режиме) МНГ заметно повышается по мере увеличения содержания воды. Величины d'_* для растворов, содержащих МНГ менее 70%, становятся столь значительными, что экспериментальное определение их требует трудоемких операций. Экспериментальная кривая 3 в исследованном интервале концентраций МНГ (от 100 до 75% по весу) удовлетворительно описывается формулой (1), если принять $A/RT \approx 7,1-7,5$. На рис. 1 штриховая кривая проведена через значения d_* полученные расчетом по формуле (1). При концентрациях растворов МНГ $\alpha < 0,75$ расчетная кривая заметно отклоняется от экспериментальной; поэтому формула (1) становится неудовлетворительной для оценки

величин d_* разбавленных растворов МНГ, если сохранять постоянной величину A/RT .

В работе [12] была исследована зависимость критического диаметра жидкого озона от содержания кислорода и качественно была подтверждена справедливость формулы (1), т. е. зависимость критического диаметра от кинетических данных жидкого ВВ. К сожалению, неопределенность точной величины критического диаметра для чистого озона (ее трудно определить, так как она меньше 0,15 мм) не позволила проверить количественно справедливость формулы (1). Следует заметить, что по данным работы [12] имеется излом на кривой критического диаметра в области разбавленных растворов, когда $\alpha < 0,4$. Мы считаем, что величины d_* , установленные авторами [12] для разбавленных растворов $O_3 + O_2$, несколько низки для обеспечения детонации их в нормальном режиме по сравнению с рассчитанными по формуле (1). Это, возможно, связано с тем, что в условиях эксперимента [12] разбавленные растворы детонировали с низкими скоростями, так как O_3 и смеси $O_3 + O_2$ способны к детонации с разными скоростями (что вытекает из анализа данных работ [12, 13], но авторы работы [12] не обратили на это внимания).

Уточнение величин d_* как для чистого озона, так и для разбавленных растворов $O_3 + O_2$ сделает эту систему моделью для проверки теоретических положений о критическом диаметре, так как она позволяет оценить экспериментально величины d_* при изменении концентрации растворов в широком диапазоне (от $\alpha = 1$ до $\alpha = 0,35 - 0,3$ по крайней мере).

На рис. 1 кроме данных для моонитрата гидразина даны зависимости d_* для систем нитрогликоль — метиловый спирт (кривая 2), нитрометан — ацетон¹ (кривая 4). Во всех случаях смеси испытывались в стеклянных трубках с толщиной стенок 0,8—1,5 мм. Из сопоставления их следует, что характер изменения критического диаметра жидкого ВВ невзрывчатой добавки в случаях [2—4] практически очень близок, т. е. уже при незначительном содержании разбавителя в ВВ имеет место крутой рост величины критического диаметра.

Влияние добавок невзрывчатых жидкостей на критический диаметр жидких ВВ бывает не всегда таким сильным, как в описанных выше случаях. Имеются жидкости, которые влияют на критический диаметр жидкого ВВ очень слабо. В качестве примера можно назвать хлороформ, бромформ. На рис. 1, 1 показано изменение d_* нитрогликоля от содержания хлороформа; прямая почти параллельна оси абсцисс, т. е. d_* нитрогликоля почти не изменяется от разбавления. Заметный рост d_* в данном случае начинается, когда содержание хлороформа в смеси превышает 35% по весу. Хлороформ и бромформ также слабо влияют на d_* нитроглицерина, метилнитрата и нитрометана. Способ влияния добавок невзрывчатых жидкостей на d_* жидких ВВ довольно разнообразен и связан, по-видимому, наряду с особенностями изменения температурных характеристик во фронте детонационной волны и с влиянием растворителя на кинетику химического превращения исходного ВВ.

Для получения представления о характере зависимости критического диаметра водных растворов МНГ от начальной температуры были определены значения критического диаметра для системы МНГ — вода 80/20 при разных начальных температурах. Результаты опытов при-

¹ Зависимость d_* нитрометана от содержания ацетона была изучена в работе [4] в условиях перехода в объем, т. е. для зарядов без оболочки. Кривая 4 на рис. 1 — данные авторов, полученные при испытании системы нитрометан — ацетон в стеклянных трубках.

ведены на рис. 2 и описываются аналитически выражением $d_*^t = d_*^{20} \times \exp(-0,012t)$, где t — начальная температура взрывчатой системы, °C, d_*^{20} — критический диаметр системы при 20°С, а d_*^t — искомый критический диаметр при температуре t . Критический диаметр водных растворов МНГ (несомненно, по-видимому, и чистого МНГ) чувствителен к изменению начальной температуры [14].

Поскольку наблюдение за детонационной способностью МНГ и его водных растворов велось с помощью фотохронографа, попутно были

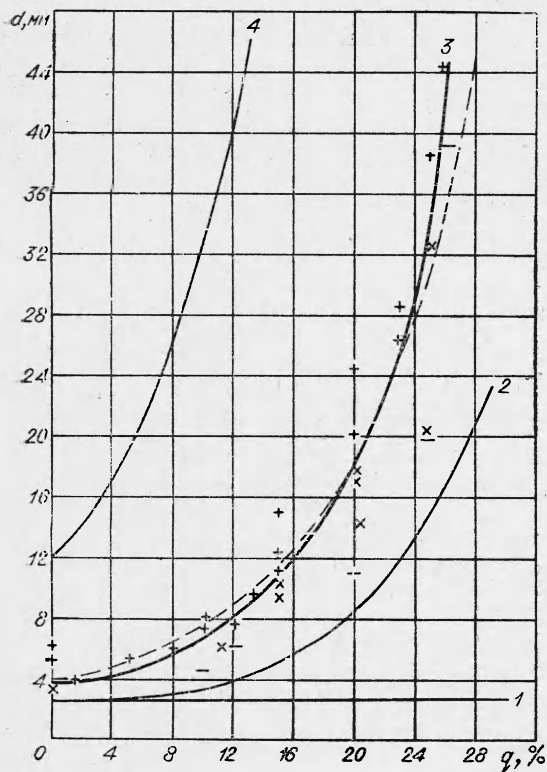


Рис. 1.

ная по формуле $D = 5,388 - 0,1 \text{ км/сек}$ из работы [8], равняется 8220 м/сек, определенное в опытах значение скорости детонации жидкого МНГ на 160 м/сек выше; это объясняется тем, что теплота взрыва для МНГ, находящегося при 75°С, несколько выше, чем для твердого МНГ при обычных условиях.

Если сравнить величины скоростей детонации мононитрата гидразина и гексогена при одинаковых плотностях заряда, то оказывается, что при высоких плотностях скорость детонации МНГ сравнима или даже несколько выше скорости детонации гексогена. Это положение заслуживает внимания, так как теплота взрыва МНГ значительно меньше теплоты взрыва гексогена.

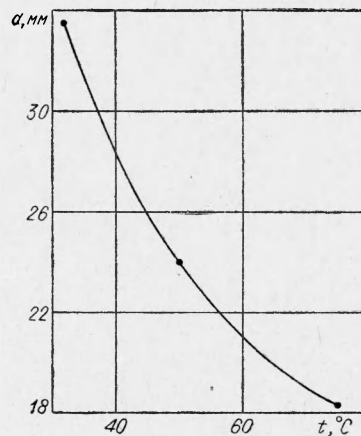


Рис. 2.

определены и скорости детонации при 75°С. Нормальная скорость детонации чистого жидкого МНГ в критическом диаметре равна 8150 м/сек, а в зарядах большего ($4 - 5 d_*$) диаметра — 8380 м/сек. Плотность жидкого МНГ при 75°С равна 1,544 г/см³. Скорость детонации пресованного до плотности 1,544 г/см³ МНГ, оценен-

Поступила в редакцию
30/VI 1969

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. Б. Харитон. Проблемы химической кинетики горения и взрывов. Вып. 1. М., Изд-во АН СССР, 1947.
2. С. Б. Кормер. УФН, 1968, 94, 4, 639—683.
3. И. М. Воскобойников, В. М. Богомолов и др. Докл. АН СССР, 1968, 182, 4, 807.
4. А. Н. Дремин, О. К. Розанов. Научно-технические проблемы горения в взрывах, 1965, 2, 93.
5. А. Н. Дремин, С. Д. Савров. ФГВ, 1966, 2, 1, 36.
6. Р. Х. Курбангалина. Канд. дисс., ИХФ АН СССР, 1947.
7. Термические константы веществ. Вып. III. М., Изд-во АН СССР, 1968.
8. D. Price, T. P. Liddiard, R. D. Drosd, U. S. Government. Res. Develop. Rep. August, 1966.
9. Л. И. Хмельницкий. Справочник по взрывчатым веществам. Ч. 2. М., 1962, 800.
10. Р. Х. Курбангалина. ЖФХ, 1948, 22, 49.
11. А. В. Дубовик, И. М. Воскобойников, В. К. Боболев. ФГВ, 1966, 2, 4, 105.
12. Е. И. Грибова, С. А. Каменецкая и др. ЖФХ, 1960, 34, 7, 1395.
13. R. O. Miller, J. Phys. Chem., 1962., 36, 193.
14. А. Ф. Беляев, Р. Х. Курбангалина. ЖФХ, 1960, 34, 3, 603.

УДК 662.215.5

СЖИМАЕМОСТЬ И ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ УДАРНОМ НАГРУЖЕНИИ НЕКОТОРЫХ ВВ В ПОРИСТОМ СОСТОЯНИИ

А. Н. Дремин, К. К. Шведов, О. С. Авдонин
(Москва)

Экспериментальные исследования ударной сжимаемости пористых ВВ существенно осложняются высокой чувствительностью ВВ. Порошкообразные ВВ даже при давлениях в несколько килобар быстро разлагаются, вследствие чего возникают трудности принципиального характера. В процессе сжатия такого ВВ во фронте ударной волны может происходить частичное химическое разложение или фазовое превращение, и получаемое после сжатия состояние будет относиться к смеси исходного вещества и продуктов превращения. Все это предъявляет повышенные требования к экспериментальной технике и трактовке получаемых результатов.

Попытки получить экспериментально ударную адиабату пористого ВВ предприняты в работе [1]. Ударная сжимаемость порошкообразного тротила исследовалась в работе [2]. Детальному рассмотрению этого вопроса посвящена работа [3], где получены ударные адиабаты пороха НБ в сплошном и пористом состоянии. В работе [3] в целях избежания возможных ошибок и достижения большей точности было предложено определять ударную сжимаемость ВВ путем одновременного измерения массовой скорости во фронте ударной волны на границе раздела инертная преграда — исследуемое ВВ (u_ϕ) и скорости фронта (D) на конечной базе измерения электромагнитным методом в условиях действия ударной волны прямоугольного профиля. Использование ударной волны прямоугольного профиля позволяет обнаруживать химическую реакцию разложения ВВ и учитывать ее возможное влияние на получаемые ре-