

ЗАВИСИМОСТЬ КРИТИЧЕСКОГО ДИАМЕТРА ЖИДКИХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ ОТ СОДЕРЖАНИЯ ПОРОШКОВ

Р. Х. Курбангалина

(Москва)

Приводятся результаты экспериментального исследования зависимости величины критического диаметра (d_*) нитрометана (НМ) от содержания порошков алюминия, окиси алюминия, вольфрама, сажи, талька и диаметра (d_*) тетранитрометана (ТНМ) от содержания алюминия и окиси алюминия. Варьировались в широком диапазоне содержание порошков (от 0 до 75% по весу) и дисперсность их. Установлено, что характер изменения величины d_* для смесей нитрометана резко отличается от характера изменения d_* смесей тетранитрометана. Когда размер частиц порошка находится в пределах 1—50 мк, величина d_* смесей НМ уменьшается по мере увеличения концентрации порошка. Минимальное значение d_* в десять раз меньше величины d_* чистого НМ. В смесях ТНМ d_* монотонно возрастает при увеличении количества порошка.

Предполагается, что такое поведение смесей НМ связано с неоднородностью структуры фронта детонационной волны в НМ, которая обусловлена особенностью кинетики химического превращения нитрометана.

Таблица 1

Взрывчатая жидкость	ρ , г/см ³	Q_v , ккал/кг	d_* , мм
Нитрометан	1.139	1060—1472	12.5
НМ + коллоксилин 97/3	1.14		12
Тетранитрометан	1.638	542	10.8—11
ТНМ + плексиглас 99.5/0.5	1.63	574	9.6

Величины критических диаметров определялись обычным способом в длинных стеклянных трубках с толщиной стенок 0.6—1.3 мм. Температура помещений, в которых производились подготовка и испытание зарядов, была одинаковой (+20° С) с отклонениями не более +2 и -1°. Процесс распространения детонации регистрировался на пленку с помощью скоростного фоторегистра, а также по деформации металлической пластинки, подложенной под заряд. Для предотвращения оседания частиц порошка предварительно готовились загущенные растворы ТНМ и НМ.

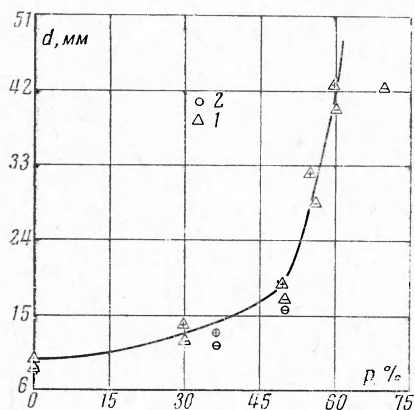
Таблица 2

Порошок	ρ , г/см ³	Характеристика
Al	2.7	Размеры частиц < 0.2 мк
Al	2.7	АСД-1; полидисперсность; в основном 5—10 мк
W	19.3	В основном 1 мк
Al ₂ O ₃	3.9—4.1	Корунд МП-7; 7 мк
Al ₂ O ₃	3.9—4.1	Корунд МП-1; 1 мк
Al ₂ O ₃	∞	«чда» ТУМХТ2063—49; > 50 мк
Al ₂ O ₃	2.7	Для хроматографии; > 50 мк
Сажа	1.8—2.1	Тонкая
Тальк	2.7—2.8	1—100 мк

Некоторые данные о свойствах ТНМ, НМ, исходных растворов их с загустителями и примененных в работе порошков приводятся в табл. 1 и 2, где удельный вес, теплота взрыва при постоянном объеме, величины критического диаметра обозначены буквами ρ , Q_v , d_* соответственно.

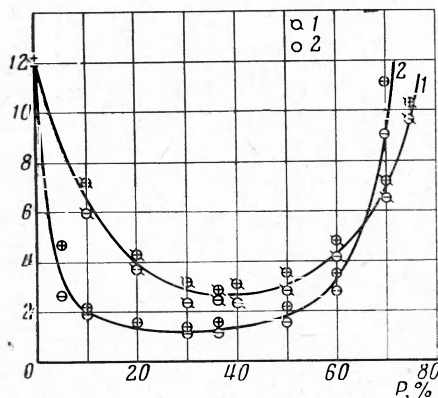
Экспериментальные результаты по определению d_* смесей нанесены на фиг. 1—3, где по оси абсцисс отложено содержание порошка в процентах по весу (P), а по оси ординат — диаметр заряда (d) в мм. Всюду знаки плюс обозначают прохождение детонации, а знаки минус — отсутствие или затухание детонации. Величина d_* для смеси данного состава находится между ближайшими минусом и плюсом, заключенными в одинаковые значки.

На фиг. 1 приведены данные для смеси ТНМ + Al АСД-1 (кривая со значками 1). Из рассмотрения хода кривой следует, что критический диаметр ТНМ только растет

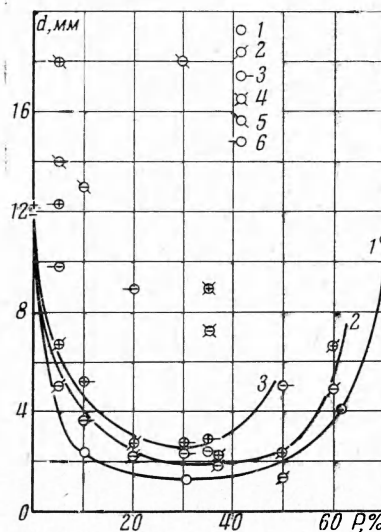


Фиг. 1

7 мк. Легко заметить, что вид кривых 1 и 2 совершенно отличается от вида кривой на фиг. 1; величина d_* на фиг. 2 для обеих смесей катастрофически уменьшается по мере увеличения содержания порошка; кривые 1 и 2 имеют чашеобразную форму и, следовательно, минимум, где величина d_* смесей в 5—10 раз меньше величины d_* для чистого НМ. Такое поведение НМ в смесях с порошками в отношении d_* можно назвать аномальным. Интересно так же то, что величина d_* смеси НМ + порошок 25/75 все еще остается меньше величины d_* чистого НМ.



Фиг. 2



Фиг. 3

На фиг. 3 нанесены результаты опытов, поставленных с целью выяснения влияния, главным образом, дисперсности и удельного веса порошков на величину d_* смесей НМ + порошок; кривая 1 (значки 1) — НМ + Al_2O_3 7 мк, кривая 3 (значки 3) — НМ + Al_2O_3 1 мк, кривая 2 (значки 2) — НМ + W 1 мк, значки 4 — НМ + Al_2O_3 > 50 мк, значки 6 — НМ + Al < 0.2 мк, значки 5 — НМ + сажа.

Из данных фиг. 3 самым интересным фактом следует считать зависимость критического диаметра смеси НМ + порошок от размера частиц, которая четко вырисовывается на примере смесей НМ + Al_2O_3 и НМ + Al; на фиг. 3 ниже всех располагается кривая 1 для НМ + Al_2O_3 7 мк; данные как для НМ + Al_2O_3 1 мк (кривая 3), так и для НМ + Al_2O_3 > 50 мк (значки 4) располагаются значительно выше данных для НМ + Al_2O_3 7 мк. Величина d_* смеси с очень мелким алюминием (значки 6 фиг. 3) тоже значительно выше величины d_* смеси НМ + Al АСД-1 (фиг. 2, кривая 1). Таким образом, наименьшие величины d_* показывают смеси НМ с порошком Al_2O_3 , размер

частиц которого равен 7 мк. Будет ли именно этот размер частиц критическим, обеспечивающим наименьшие значения d_* утверждать нельзя, пока не будут проведены опыты с порошками Al_2O_3 , размер частиц которых несколько отличается от 7 мк в ту и в другую сторону. Но из всех испытанных пока порошков Al_2O_3 (размер частиц 1, 7 и > 50 мк) семимикронная окись алюминия интенсивнее всех остальных снижает величину d_* .

Высокие значения d_* (значки 5 на фиг. 3) и повышение величины d_* по мере увеличения содержания сажи намечаются для смеси НМ + сажа. Основными причинами, обуславливающими такое поведение смеси НМ + сажа в отношении d_* , являются, по-видимому, слишком высокая дисперсность (< 0.1 мк) частиц сажи и сравнительно низкой удельный вес ее.

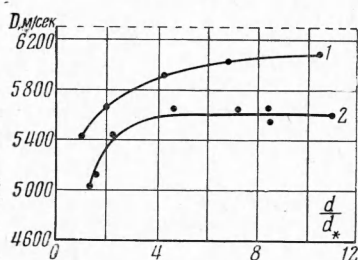
Следует здесь сказать несколько слов о роли твердости порошков. Для выяснения влияния твердости порошка на d_* НМ были поставлены специально опыты с тальком: они показали, что при прочих равных условиях d_* для смеси НМ + тальк и НМ + Al_2O_3 совпадают, т. е. твердость порошка не имеет существенного значения для исследуемого явления.

Эта работа была проделана для определения величин d_* ТНМ и НМ в смесях с различными порошками, так как точная оценка их расчетом все еще невозможна. По представлению, развитым в работе [1], величина d_* , время химического превращения τ взрывчатого вещества (ВВ) в зоне детонационной волны и температура T в сжатом ударным фронтом слое жидкого ВВ связаны между собой; $d_* \sim \tau \sim \exp A / RT$. Температура T при однократном сжатии жидкости фронтом детонационной волны определяется скоростью D детонационной волны: $T \sim D^2$. При добавке к ВВ инертных веществ скорость детонации ВВ всегда уменьшается, следовательно, уменьшается и T . Уменьшение T должно привести к повышению d_* . Примерно так обстоит дело со смесями жидкое ВВ + инертная жидкость. Как показывают эти эксперименты, поведение в отношении d_* смесей жидкое ВВ + порошок бывает и аномальным. Система жидкое ВВ + порошок является гетерогенной средой, законы распространения ударных и детонационных волн в ней более сложны, чем в однородной по агрегатному состоянию системе жидкое ВВ + инертная жидкость. В системе жидкое ВВ + порошок схема распространения ударных и детонационных волн сложна как из-за различной сжимаемости и скорости звука компонентов, так и из-за возможности всякого рода взаимодействий частиц порошка с ударным фронтом. При распространении ударных, детонационных волн в смеси жидкое ВВ + порошок поле температур и давлений (когда частицы порошка не очень малы) неоднородно, имеются участки с повышенными температурами и давлениями. При определенном размере участка с повышенной температурой T_1 ВВ, заключенное в этом участке, воспламенится раньше и станет, таким образом, очагом реакции. Теперь определяющей температурой начало реакции сжатого ВВ будет не T , а $T_1 > T$. Оценка T_1 более сложна. Эффективность очагов связана, конечно, с размером и количеством их. В работе [2] в связи с изучением механизма детонационного превращения некоторых сплошных порохов было исследовано влияние на d_* порохов добавок (до 5% по весу) тяжелых неорганических мелкоизмельченных порошков и установлено, что d_* пороха уменьшается по мере повышения содержания порошка. В результате анализа своих экспериментальных данных авторы работы [2] пришли к выводу, что очаги с повышенными температурами и давлениями, возникающие при распространении детонационной волны в системе сплошное ВВ + порошок эффективны, если детонационное превращение исходного чистого ВВ происходит по гетерогенному (очаговому) механизму, т. е. когда фронт детонационной волны исходного ВВ неоднороден. Авторы работ [3-5] показали, что фронт детонационной волны НМ неоднороден, воспламенение НМ при детонации начинается в отдельных очагах, а фронт детонационной волны тетранитрометана однородный, ударно сжатый слой ТНМ воспламеняется при детонации одновременно во всех точках. Представления, развитые в работе [2], применимы, по-видимому, и в случае смесей жидкое ВВ + порошок; из них, и на основании работ [3-5], становится несколько ясным различное поведение НМ и ТНМ в отношении d_* в смесях с порошками; нитрометан, нуждающийся для детонационного превращения в очагах с повышенными температурами и давлениями, получает при введении порошка дополнительные очаги реакции.

Появление большого количества дополнительных очагов резко сокращает время воспламенения НМ во фронте детонационной волны, что влечет за собой уменьшение величины d_* . Из данных фиг. 3 следует, что уменьшение d_* НМ наблюдается лишь тогда, когда дисперсность порошка находится в определенном диапазоне. Это значит, что не всякие очаги эффективны. Возможно, между эффективным размером очага и размером неоднородностей фронта детонационной волны НМ существует связь. Этот вопрос пока не исследовался и может быть предметом отдельного исследования.

А в случае ТНМ, наоборот, введение порошка нарушает однородность фронта детонационной волны, препятствует равномерному послойному распространению детонации в нем, изменяет тем самым механизм воспламенения ТНМ во фронте. По-видимому, изменение механизма воспламенения ТНМ, понижение общей теплоты взрыва

системы по мере добавления порошка приводят к увеличению времени воспламенения ТНМ во фронте детонационной волны и, как следствие этого, к повышению величины d_* . Правда, величины d_* смесей ТНМ с порошками исследованы пока недостаточно, особенно с порошками разной дисперсности и большого удельного веса. Кроме того, теплота взрыва самого ТНМ низка (см. табл. 1) по сравнению с теплотой взрыва НМ. Когда теплота взрыва смеси НМ + порошок становится меньше 600 ккал/кг, d_* этой системы тоже начинает расти (см. фиг. 2, 3), но абсолютная величина d_* смеси при этом все еще меньше величины d_* чистого НМ. Эти обстоятельства могут вызвать сомнение



Фиг. 4

в справедливости основного вывода данного исследования — зависимости величины d_* системы жидкое ВВ + порошок от структуры фронта детонационной волны исходного жидкого ВВ. Кажется, что и после дополнительных исследований поведение смеси ТНМ с порошками в отношении d_* будет отличным от поведения смеси нитрометана, так как на фиг. 1—3 их величины d_* изменяются в противоположных направлениях.

Несколько слов о скоростях детонации исследованных систем. Известно, что в системах ВВ + инертный порошок, равно как и в смесях, содержащих в продуктах взрыва конденсированную фазу, скорость детонации всегда ниже, чем в чистом исходном ВВ, и чем больше доля конденсированной фазы, тем ниже величина скорости.

Так же ведут себя в отношении скорости детонации системы НМ + порошок и ТНМ + порошок. Определение скорости детонации в данной работе проводилось одновременно с оценкой критического диаметра. Поэтому для большинства составов измерены величины скорости детонации лишь вблизи критического диаметра и здесь не приводятся. Но для систем НМ + Al АСД-1 и НМ + Al_2O_3 7 мк состава 63/37 были сняты кривые зависимости скорости детонации до $d/d_* = 10$; они приводятся на фиг. 4, где кривая 1 относится к НМ + Al и кривая 2 — к НМ + Al_2O_3 . При одинаковых весовых составах скорость детонации системы НМ + Al несколько выше, чем скорость детонации системы НМ + Al_2O_3 ; кроме того, скорость детонации системы НМ + Al хотя и медленно, но все время растет с увеличением диаметра заряда, что можно объяснить частичным сгоранием алюминия в зоне химической реакции НМ.

В общем, по характеру зависимости скорости детонации от диаметра заряда системы жидкое ВВ + порошок становятся ближе к порошкообразным ВВ; из фиг. 4 видно, что скорость детонации D_* в критическом диаметре заметно ниже (на 10—12%), чем D вдали от критического диаметра. Наличие такого сходства было отмечено раньше в работе [6] при определении критического давления инициирования в системе НМ + карборунд состава 20/80. Ими было показано, что при возбуждении детонации этой системы ударной волной, скорость которой ниже нормальной скорости детонации смеси, имеет место, как в порошкообразных ВВ, постепенное повышение скорости детонации смеси до достижения нормального значения, критическое давление инициирующей ударной волны для смеси НМ + карборунд равно 23 кбар, в то время как для инициирования детонации в чистом НМ в тех условиях нужна ударная волна с интенсивностью в 86—90 кбар.

Поступила 28 VI 1968

ЛИТЕРАТУРА

- Харитон Ю. Б. О детонационной способности взрывчатых веществ. Вопросы теории взрывчатых веществ, кн. 1 (сб. статей, вып. 1). М., Изд-во АН СССР, 1947.
- Апин А. Я., Стесик Л. Н. О механизме реакции при детонации сплошных взрывчатых веществ. ПМТФ, 1965, № 2.
- Дремин А. Н., Ададуров Г. А., Розанов О. К. О детонации нитрометана вблизи предела. Докл. АН СССР, 1960, т. 133, № 6.
- Дремин А. Н., Савров С. Д. Об устойчивости фронта детонации в жидких ВВ. Физика горения и взрыва, 1966, № 1.
- Дремин А. Н., Савров С. Д., Предельные условия устойчивого распространения детонации с одномерной зоной в жидких ВВ. Физика горения и взрыва, 1966, № 4.
- Cambella A. W., Davis W. C., Ramsay J. B., Travis J. R. Shock initiation of solid explosives. Phys. Fluids, 1961, vol. 4, No. 4.