

ЭНЕРГИЯ ВЗРЫВА ВОДОНАПОЛНЕННОГО ГЕКСОГЕНА

*В. И. Ващенко,
Ю. Н. Матюшин, В. И. Пепекин, А. Я. Апин
(Москва)*

Водонаполненные взрывчатые вещества находят широкое применение в горном деле [1, 2]. Известно, что заполнение воздушных промежутков между зернами порошкообразных ВВ водой приводит к значительному увеличению действия взрыва, возрастает давление взрыва и скорость детонации [3]. Одной из важнейших величин, определяющих эффективность действия водонаполненных ВВ, является теплота взрыва. Осуществление наиболее полного выделения энергии при взрыве водонаполненных ВВ и эффективного ее использования имеет первостепенное значение при проведении взрывных работ. Имеющиеся в литературе [4, 5] эпизодические данные по теплотам взрыва водонаполненных систем свидетельствуют о том, что при их взрыве происходит дополнительное тепловыделение по сравнению с ненаполненными системами. Этот эффект наблюдается только у ВВ с отрицательным кислородным балансом. Однако до сих пор вопрос о теплотах взрыва и реакциях взрывчатого разложения наполненных систем детально не исследовался. Наряду с практической важностью этот вопрос представляет самостоятельный интерес.

В данной работе экспериментально были определены теплоты взрыва водонаполненного гексогена (циклотриметилентринитроамина) в зависимости от содержания воды и дисперсности порошка. Экспериментальное определение теплот взрыва, химического состава и объема продуктов взрыва водонаполненного полидисперсного гексогена позволило получить данные, отражающие в определенной степени картину протекания химических реакций при взрыве.

Экспериментальная часть

Определение теплот взрыва проводилось в калориметрической бомбе с самоуплотняющейся крышкой [5]. Тепловое значение калориметрической установки составляло 31600 ± 80 кал/град по теплоте сгорания бензойной кислоты. В опытах использовался водонаполненный полидисперсный гексоген с размером частиц $l \sim 0,063-0,25$ мм и монодисперсный с $l \sim 0,005$ мм. Плотность сухого порошка в первом случае $\rho = 1,14$ г/см³, во втором $\rho = 0,6$ г/см³. Заряды ВВ диаметром 18 мм помещались в стеклянные оболочки. Используемые заряды превосходили критический диаметр в несколько раз.

В табл. 1 приведены экспериментальные данные по теплотам взрыва наполненного гексогена в зависимости от процентного содержания воды в заряде. Как видно из таблицы, по мере увеличения содержания воды теплота взрыва на единицу веса сухого гексогена увеличивается. При содержании воды 24% наблюдается максимум тепловыделения, после которого дальнейшее увеличение содержания воды не оказывает влияния на теплоту взрыва. При содержании воды в заряде до 24% зависимость теплоты взрыва имеет линейный характер для гексогена обеих фракций (см. рисунок). В зарядах с содержанием воды более 24% трудно возбудить детонацию. Как правило, в них наблюдается образование поверхностного слоя воды. Нерасплаивающиеся желатинообразные за-

Таблица 1

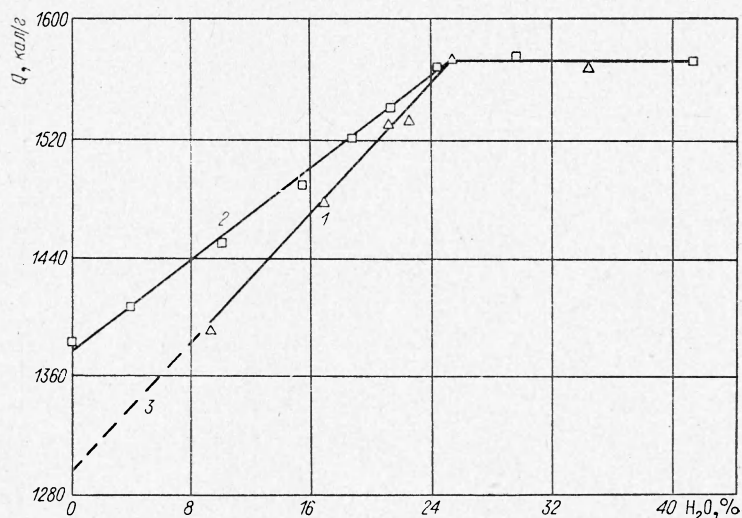
Теплота взрыва

Содержание воды, %	Теплота взрыва, кал/г		Содержание воды, %	Теплота взрыва, кал/г	
	на 1 г смеси	на 1 г гексогена		на 1 г смеси	на 1 г гексогена
<i>Полидисперсный гексоген</i>					
0	1380	1380	20,6	1204	1516
3,8	1352	1406	20,9	1210	1530
9,9	1306	1450	21,0	1220	1540
15,3	1261	1489	24,1	1187	1565
18,4	1240	1520	29,2	1113	1573
			41,2	905	1570
<i>Монодисперсный гексоген</i>					
9,2	1260	1390	22,2	1183	1520
16,7	1230	1476	25,0	1180	1573
20,8	1209	1530	33,6	1039	1565

по изменению объема при сжигании его в температурном интервале 280—340°С. Заметного количества других газов (CH_4NH_3) в опытах обнаружено не было. Анализ газообразных продуктов взрыва полидисперсного водонаполненного гексогена показал, что увеличение содержания воды приводит к возрастанию концентрации двуокси углерода в продуктах взрыва, при этом объем газов уменьшается на 20% (табл. 2).

Обсуждение результатов

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что по мере увеличения содержания воды теплота взрыва на единицу веса сухого гексогена растет до определенного предела. Насколько существенно влияет на теплоту взрыва степень заполнения пустот между зернами ВВ водой, видно из рисунка. Теплоты взрыва для двух фракций гексоге-



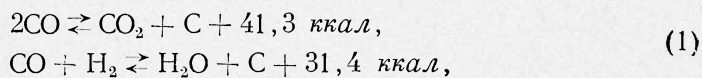
Зависимость теплоты взрыва монодисперсного (1) и полидисперсного (2) гексогена от содержания воды в заряде.

на растут с увеличением содержания воды. Интересно отметить, что при равном содержании воды теплота взрыва полидисперсного гексогена больше теплоты взрыва монодисперсного. Это связано с тем, что плотность гексогена $\rho = \frac{m}{V - V_1}$ (где m — вес гексогена, V — общий объем заряда и V_1 — объем, занимаемый водой) полидисперсного гексогена выше, чем у монодисперсного. В предельном случае, при отсутствии в заряде воды, разность в теплотах взрыва составляет величину $1380 - 1295 = 85$ ккал, что согласуется с экспериментальными данными [6]. Теплота взрыва сухого монодисперсного порошка гексогена 1295 ккал/г получена экстраполяцией (прямая 3).

С увеличением содержания воды прямая 1 сближается с верхней, а разность в теплотах взрыва двух фракций гексогена при равном содержании воды уменьшается. Это объясняется тем, что добавление больших количеств воды к рыхлому монодисперсному гексогену приводит к тому, что в процессе перемешивания и приготовления состава плотность зарядов монодисперсного гексогена мало отличается от плотности зарядов полидисперсного порошка, а плотность монодисперсного гексогена ($\rho = \frac{m}{V - V_1}$) приближается к плотности полидисперсного.

При содержании воды около 24% экспериментально наблюдается равенство теплот взрыва для гексогена различной степени дисперсности. Прямые 1, 2 сходятся в одной точке, отвечающей максимуму выделения энергии и соответствующей полному заполнению пустот между зернами ВВ водой. Дальнейшее увеличение содержания воды приводит к уменьшению детонационной способности зарядов, вследствие нарушения контакта и увеличения расстояния между зернами ВВ. Для инициирования таких зарядов требуется более мощная ударная волна.

В табл. 2 для сопоставления приведены данные по теплотам взрыва, объему и составу продуктов взрыва гексогена. Детонация этих зарядов осуществлялась в массивных латунных оболочках [6]. Такое сопоставление позволяет сделать вывод, что в случае водонаполненных ВВ наблюдается наиболее полное выделение энергии взрыва. При содержании воды около 24% каждое зерно окружено оболочкой воды, при этом возрастают местная и усредненная плотности ВВ. При детонации зарядов развиваются более высокие локальные давления, которые существенно влияют на протекание равновесных реакций генераторного газа

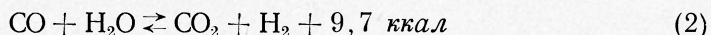


смешая их в сторону образования сажи и большего тепловыделения. В соответствии с реакциями происходит уменьшение объема продуктов взрыва, наблюдаемое в эксперименте. Реализация реакции (1) приводит к уве-

Таблица 2
Объем и состав продуктов взрыва полидисперсного водонаполненного гексогена

Содержание воды, %	Теплота взрыва, ккал/кг	Объем газов, л/кг	Состав продуктов взрыва, моль/моль			
			CO ₂	CO	H ₂	C
0,0 ($\rho=1,14$)	1380	684	0,89	2,01	0,79	0,10
18,4	1520	560	1,35	0,70	0,40	0,95
21,0	1540	542	1,44	0,47	0,35	1,09
$\rho=1,1$ [6]	1390	680	0,93	2,01	0,75	—
$\rho=1,7$ [6]	1510	630	Данных нет			

личению содержания в продуктах взрыва двуокиси углерода и свободного углерода, в то же время концентрация окиси углерода уменьшается. Смещение равновесий реакции водяного газа



в случае водонаполненных систем, по-видимому, не происходит, поскольку протекание реакции (2) оказывает несущественное влияние на гелловой эффект взрыва и должно приводить к увеличению содержания водорода в продуктах взрыва, что не подтверждается экспериментом (см. табл. 2).

Таким образом, исследования показывают, что при детонации водонаполненных систем, как и следовало ожидать, происходит увеличение энергии взрыва. Введение воды приводит, с одной стороны, к увеличению плотности заряда, зерна ВВ реагируют в собственном объеме при плотности монокристалла. С другой стороны, вода выполняет роль внутренней оболочки, припятствующей разлету продуктов взрыва, что приводит к увеличению времени протекания равновесных химических реакций в детонационной волне. Последнее обстоятельство способствует более глубокому завершению химических реакций и более полному выделению энергии. Максимальная теплота взрыва водонаполненного гексогена (1570 кал/г) выше теплоты взрыва гексогена при $\rho=1,8 \text{ г/см}^3$ и близкая к предельной теплоте взрыва (1620 кал/г), вычисленной в предположении, что при взрыве заряда высокой плотности вся окись углерода переходит в двуокись и свободный углерод.

Выводы

1. Экспериментально показано, что теплота взрыва на единицу веса гексогена различной степени дисперсности линейно возрастает при увеличении содержания воды в заряде от 0 до 24%.
2. Установлено, что введение в заряд ВВ воды более 24% не приводит к дальнейшему увеличению теплоты взрыва.
3. Дано объяснение различию в теплотах взрыва наполненного гексогена двух фракций при одинаковом содержании воды.
4. Проведен химический анализ продуктов взрыва полидисперсного гексогена, на основании которого можно судить о картине протекания химических реакций при взрывчатом разложении наполненного гексогена.
5. Показано, что в случае водонаполненных систем осуществляется наиболее полное выделение энергии взрыва.

*Поступила в редакцию
1/XII 1970*

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. В. Дубнов. «Взрывное дело», 1962, № 49/6.
2. М. А. Соок. Skill. Mining Rev, 1960, 49, 36, 4.
3. А. Я. Апин, Н. Ф. Велина. Докл. АН СССР, 1966, 171, 2, 399.
4. Ю. А. Лебедев, Г. Г. Липанин и др. «Взрывное дело», 1963, № 52/9.
5. А. Я. Апин, Н. Ф. Велина, Ю. А. Лебедев. ПМТФ, 1962, 5, 96.
6. А. Я. Апин, Ю. А. Лебедев. Докл. АН СССР, 1957, 114, 4, 819.