

## ЛИТЕРАТУРА

1. Д. А. Франк-Каменецкий. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. М.: Наука, 1967.
2. А. С. Предводителев, Л. Н. Хитрин и др. Горение углерода. М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1949.
3. О. А. Малиновская и др. Моделирование каталитических процессов на пористых зернах/Под ред. М. Г. Слинько. Новосибирск: Наука, 1975.
4. Дж. Томас, У. Томас. Гетерогенный катализ. М.: Мир, 1969.
5. В. А. Злобинский, М. С. Оренбах.— В сб.: Горение твердого топлива. Т. 2. Новосибирск: Наука, 1974, с. 13.
6. А. М. Головин, В. Р. Песчин. ФГВ, 1978, 14, 1.
7. В. А. Злобинский, М. С. Оренбах.— В сб.: Горение твердого топлива. Т. 2. Новосибирск: Наука, 1974, с. 23.
8. Л. Н. Хитрин, Е. С. Головина. ТВТ, 1968, 6, 1.
9. Г. П. Хаустович, А. Е. Лебедев. ХТТ, 1979, 5.
10. Г. П. Хаустович, А. Е. Лебедев. ХТТ, 1980, 3.
11. Е. Л. Гольдберг. ХТТ, 1980, 3.
12. П. Л. Уокер, Ф. Русинко, Л. Г. Остин.— В кн.: Реакции углерода с газами/Под ред. Е. С. Головиной. М.: ИЛ, 1963.

### ДЕТОНАЦИЯ ЖИДКИХ ВВ В ОБОЛОЧКАХ ИЗ БОЛЕЕ МОЩНЫХ СОСТАВОВ

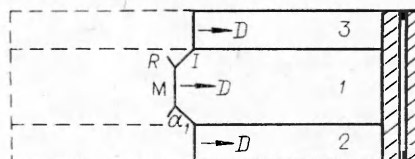
*И. М. Воскобойников, М. Ф. Гоголя, А. Ю. Долгобородов*  
(Москва)

В работе [1] описаны результаты исследования маховского взаимодействия детонационных волн в нитрометане, помещенном в оболочку из более мощного взрывчатого вещества, литой смеси тротила с гексогеном ТГ 50/50. Через некоторое время после инициирования в таких зарядах (рис. 1) возникала стационарная маховская конфигурация в нитрометане, которая распространялась со скоростью детонации ВВ оболочки, причем давление пересжатой детонации в центре конфигурации превосходило давление детонации ВВ оболочки. Размер области пересжатой детонации в нитрометане линейно возрастал с ростом диаметра полости, в которую он залит.

Настоящая работа продолжает [1] и содержит результаты исследования размера области пересжатой детонации от скорости детонации ВВ оболочки. В качестве оболочек использовались литые тротил ( $\rho_0 = 1,62 \text{ г/см}^3$ ,  $D = 6,85 \text{ мм/мкс}$ ), ТГ 50/50 ( $\rho_0 = 1,68 \text{ г/см}^3$ ,  $D = 7,65 \text{ мм/мкс}$ ), ТГ 36/64 ( $\rho_0 = 1,71 \text{ г/см}^3$ ,  $D = 8,00 \text{ мм/мкс}$ ), композиция на основе октогена ( $\rho_0 = 1,83 \text{ г/см}^3$ ,  $D = 8,40 \text{ мм/мкс}$ ). Наряду с нитрометаном ( $\rho_0 = 1,14 \text{ г/см}^3$ ,  $D = 6,30 \text{ мм/мкс}$ ) в центральную полость помещались растворы нитрометана с бромформом 70/30 по массе (раствор 1,  $\rho_0 = 1,39 \text{ г/см}^3$ ,  $D = 5,60 \text{ мм/мкс}$ ) и 50/50 (раствор 2,  $\rho_0 = 1,64 \text{ г/см}^3$ ,  $D = 5,20 \text{ мм/мкс}$ ). Во всех опытах внешний диаметр оболочки составлял 40 мм, а внутренней полости с жидким ВВ — 20 мм, высота заряда превышала 50 мм. Детонация заряда инициировалась плосковолновым генератором; на верхнем торце заряда помещалась сборка из флексигласовых пластин с зазорами для фиксации выхода фронта детонации на торец заряда и оценки давления детонации.

Регистрация свечения процесса с торца заряда проводилась с помощью СФР, скорость развертки 3,75 мм/мкс. Щель СФР устанавливалась по диаметру заряда. Типичная фотограмма опытов представлена на рис. 2. Измеренные диаметры  $d$  областей пересжатых детонаций — маховских дисков, представлены в таблице. Нетрудно заметить, что величины  $d$  для нитрометана уменьшаются с увеличением разности скоростей детонации ВВ оболочки заряда и нитрометана и приближаются к некоторому предельному значению. Поскольку дальнейшее увеличение разности скоростей детонации не представлялось возможным, когда полость была

Рис. 1. Экспериментальная сборка.  
I, R — падающая и отраженная волны;  
M — маховский диск;  $\alpha$  — угол между  
фронтом детонационной волны в исследуемом  
веществе и боковой поверхностью оболочки.  
1 — ВВ; 2 — оболочка; 3 — набор флексигласовых пластин.



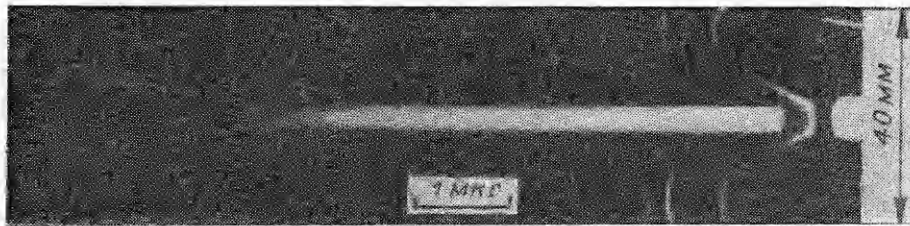


Рис. 2. Типичная фотограмма (раствор 2 в оболочке из ТГ 36/64, высота заряда 58, 3 мм).

залита нитрометаном, опыты продолжены с растворами нитрометана с бромформом. По мере увеличения бромформа в растворе при одинаковой оболочке происходит уменьшение  $d$ . Для раствора 2 изменение скорости детонации оболочек в рассматриваемых пределах не приводит к изменению диаметра маховского диска.

Детонация жидкого ВВ, распространяющаяся от боковой поверхности к центру полости, может оказаться пересжатой расширяющимися продуктами взрыва более мощного ВВ оболочкой полости. В плоском случае для оценки возможности пересжатой детонации необходимо совместное решение уравнений, описывающих изэнтропы продуктов взрыва жидкого ВВ и ВВ оболочки. С учетом направлений движения волн эти уравнения могут быть записаны для продуктов детонации жидкого ВВ в виде [2]

$$\frac{u}{u_1} = 1 - \frac{2n_1}{n_1 - 1} \left[ 1 - \left( \frac{p}{p_1} \right)^{(n_1 - 1)/2n_1} \right],$$

где  $u_1 = D_1/(n_1 + 1)$ ,  $p_1 = \rho_{01} D_1 u_1$ ,  $n_1$ ,  $\rho_{01}$  — массовая скорость, давление, показатель политропы продуктов взрыва жидкого ВВ и его начальная плотность. Для продуктов детонации оболочки

$$\frac{u}{u_2} = \frac{2n_2}{n_2 - 1} \left[ 1 - \left( \frac{p}{p_2} \right)^{(n_2 - 1)/2n_2} \right],$$

где  $u_2$ ,  $p_2$ ,  $n_2$  — параметры детонации ВВ оболочки.

Для суждения о возможности пересжатия детонации достаточно найти величину  $u$  из второго уравнения при  $p = p_1$ . Если найденное  $u$  окажется меньше  $u_1$ , то пересжатия быть не может. Для исследованных в работе пар ВВ максимальное пересжатие могло быть в случае раствора 2, который помещался в оболочку из композиции на основе октогена. Оказалось, что это пересжатие не превосходит 4 ГПа, что может привести к увеличению скорости детонации на величину  $\sim 0,1$  мм/мкс. Пересжатие также может осуществляться за счет распространения конической волны к центру заряда [3]. Оно должно приводить к различию между измеренными из фотограмм выхода детонационных фронтов на торец заряда углов  $\alpha$  с рассчитанными из соотношения

$$\alpha_1 = \arcsin(D_1/D_2),$$

где  $D_1$  и  $D_2$  — соответственно нормальная скорость детонации жидкого ВВ и оболочки. Сравнение рассчитанных и измеренных значений углов, представленное в

Жидкое ВВ	$D$ , мм/мкс	$d$ , мм	$p$ , ГПа	$p_1$ , ГПа	$\alpha$ , град	$\alpha_1$ , град
Нитрометан ( $D = 6,3$ мм/мкс)	6,85	13+1	21,2	23,4	65+3	67
	7,65	10+1	31,0	34,4	56+2	55,4
	8,00	7,2+0,6	33,5	39,9	54+2	52
	8,40	7,3+0,6	—	45,9	—	48,6
Раствор 1 ( $D = 5,6$ мм/мкс)	7,65	6,1+0,5	41,3	45,2	47±1	47,6
Раствор 2 ( $D = 5,2$ мм/мкс)	7,65	4,4±0,5	50,8	56,4	42+1	43
	8,00	4,3+0,5	60,4	64,9	41+1	41
	8,40	4,3+0,5	72,5	72,7	36+3	38,7

таблице, показывает, что они практически совпадают, что в свою очередь указывает на отсутствие существенного пересжатия.

Фотограмма выхода детонационных фронтов на торец заряда позволяет также провести оценку давлений в маховских дисках. Поскольку в момент выхода детонации, распространяющейся по ВВ на торец заряда, сложившаяся конфигурация волн распадается и фронт пересжатой детонации, разрушаясь, проходит некоторую базу, то измеряемые по фотограмме скорости ударных волн в плексиглазе дают лишь приближенную, заниженную оценку давлений детонации в маховском диске. Для определения давления использовалось выражение [4]

$$p = 1/2 \cdot p_2(1 + \rho_0 D / \rho_{02} D_2),$$

где индекс 2 относится к параметрам ударной волны в плексиглазе,  $D$  — скорость детонации в маховском диске, которая равна скорости детонации оболочки,  $\rho_0$  — начальная плотность исследуемого ВВ.

Давления пересжатой детонации в маховском диске ( $p_1$ ) также рассчитаны, исходя из скорости его распространения по выражениям, полученным в [5]. При этом предполагалось, что показатель политропы продуктов детонации растворов 1,2 постоянен при пересжатии и равен 2,7. Измеренные  $p$  и рассчитанные  $p_1$  значения давлений в маховских дисках представлены в таблице. Давление, реализующееся при данной постановке опытов, значительно превосходит давление нормальной детонации, например нитрометан удалось пересжать по давлению почти в 3,5 раза, а раствор 2 — в 6 раз.

Поступила в редакцию  
26/XI 1980

#### ЛИТЕРАТУРА

1. М. Ф. Гоголя, И. М. Воскобойников, Н. Г. Демченко. ФГВ, 1981, 17, 1.
2. Ф. А. Баум, Л. П. Орленко и др. Физика взрыва. М.: Наука, 1975.
3. А. Г. Тесленко, Р. П. Дидык. ФГВ, 1974, 10, 3.
4. М. А. Кук. Наука о промышленных взрывчатых веществах. М.: Недра, 1980.
5. И. М. Воскобойников, А. Н. Афанасенков. — В сб.: Взрывное дело, № 75/32. М.: Наука, 1975.

#### • КОНТАКТНАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ НИЗКОПЛОТНЫХ ВВ

В. С. Соловьев, Л. Н. Власова, С. Г. Андреев, М. М. Бойко, А. В. Аггетков  
(Москва)

Процесс возникновения, развития и распространения детонации в низкоплотных зарядах ( $\rho = 0,4 \cdot 10^3 \div 1 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>) имеет особенности и обуславливается многообразием сопровождающих его процессов (фильтрация продуктов детонации в пористую среду, соударение и дробление зерен, зажигание зерен ВВ и т. д.) [1]. Наличие такого сложного механизма распространения детонации в низкоплотных ВВ предопределяет особенности при их контактном инициировании по сравнению с высокоплотным ВВ.

В данной работе экспериментально исследовался процесс возбуждения и развития детонации при контактном расположении низкоплотных зарядов ( $\rho_1 = 0,15 \cdot 10^3 \div 0,6 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>) на основе гексогена с открытой пористостью в зарядах большей плотности ( $\rho_2 = 0,6 \cdot 10^3 \div 1,7 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>), а также инициирование зарядов с  $\rho_2 = 0,4 \cdot 10^3$  кг/см<sup>3</sup> высокоплотными зарядами. При исследовании использовались оптический и электромагнитный методы.

Как показано в работе [2], при контактном инициировании смеси гексогена с мипорой малой плотности листовым ВВ ограниченной толщины наблюдается переходный процесс. Поведение кривых  $D(b)$ ,  $u_m(b)$ ,  $tu_m(b)$  (рис. 1), полученных с помощью электромагнитного датчика, говорит о том, что в процессе возбуждения и развития детонации в исследуемом заряде можно выделить следующие стадии. На начальной стадии детонация листовым ВВ вызывает поджигание зерен ВВ, находящихся в непосредственном контакте с ним. Поскольку объем прореагировавшего ВВ достаточно мал и, кроме того, происходит интенсивная разгрузка в направлении ВВ и в противоположную сторону, параметры в данной области понижаются. Последующая стадия — это интенсивное воспламенение низкоплотного