

нии не взаимодействуют с ТНМ видимым образом и не дают изменения объема.

Основные результаты экспериментов представлены в табл. 4 и на рис. 2.

Смесь, содержащая 20% бис(ацетоксиметил)карборана, в стеклянной трубке с внутренним диаметром 11 мм детонирует со скоростью 7000 м/сек. У смеси с 15% изопропилкарборана скорость детонации в стеклянной трубке с диаметром 7 мм равна 7130 м/сек.

На рис. 2 полученные результаты изображены графически. Скорость детонации чистого ТНМ 6400 м/сек [11]. Борсоединения увеличивают скорость детонации ТНМ, однако углеводороды дают более высокое увеличение.

Поступила в редакцию
24/V 1972

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Я. Апин, А. Ф. Беляев, Г. С. Соснова. Сб. «Физика взрыва», № 3, Изд. АН СССР, 1955.
2. M. A. Cook, A. S. Filler. J. Phys. Chem., 1957, **61**, 2, 189.
3. А. Н. Дремин, П. Ф. Похил, М. И. Арифов. Докл. АН СССР, 1960, **131**, 5, 1140—1142.
4. Л. Н. Стесик. ФГВ, 1971, **7**, 1.
5. Г. С. Соснова. III всесоюзн. симп. по горению и взрыву. Автореф. докл. Черноголовка, 1971.
6. В. И. Пепекин, М. Н. Махов, А. Я. Апин. ФГВ, 1972, **8**, 1.
7. Г. Л. Гальченко, Л. Н. Мартыновская, В. И. Станко. Докл. АН СССР, 1969, **186**, 5, 1328.
8. В. И. Пепекин, Ю. Н. Матюшин и др. Изв. АН СССР, 1971, **2**.
9. M. A. Cook. The Science of high Explosives. N. Y., 1958.
10. Л. Н. Акимова, Л. Н. Стесик. Сб. «Физика взрыва», № 5, 1956.
11. J. F. Roth. Z. des S. und S., 1941, **36**, 52.

УДК 662.215.1

ОСОБЕННОСТИ ВОЗБУЖДЕНИЯ ДЕТОНАЦИИ В ПРЕССОВАННОМ ТРОТИЛЕ УДАРОМ ПЛАСТИНЫ

M. M. Бойко, O. A. Кузнецов, B. C. Соловьев
(Москва)

Известно, что детонация, возбуждаемая ударной волной, выходит на стационарный режим, спустя некоторое время после входа инициирующей ударной волны (ИУВ) в исследуемый образец [1—11]. Установлено, что для однородных ВВ с нормальным тепловыделением за ударным фронтом детонация начинается на границе раздела, тогда как для гетерогенных ВВ переход ИУВ происходит постепенно, а ИУВ с самого начала является реакционной. Для изменения амплитуды инициирующей ударной волны большинство авторов использовали ослабитель, который разделял нагружающий (активный) и исследуемый (пассивный) заряды ВВ. При такой схеме нагружения профиль давления от времени близок к треугольному, а его длительность определяется линейными размерами нагружающей системы. Дифференцировать влияние параметров нагружения (амплитуда, длительность) в таких усло-

виях трудно, так как изменение амплитуды давления за счет толщины ослабителя приводит к изменению временного профиля давления, который может оказывать существенное влияние на поведение пассивного заряда ВВ [12].

В настоящей работе исследовано влияние величины давления p_u и времени его действия τ_u на расстояние перехода ИУВ в детонационную l в условиях прямоугольного профиля нагрузки, создаваемого ударом пластины. Объектом исследования явился прессованный тротил, плотность которого изменялась в диапазоне $1,50—1,60 \text{ г}/\text{см}^3$. Изменение нагрузки достигалось варьированием скорости полета и толщины ударника.

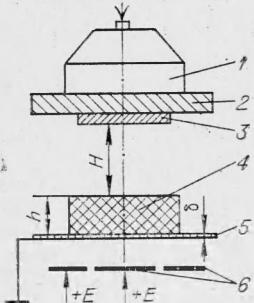


Рис. 1. Схема эксперимента.

ВВ 4 располагался на некотором расстоянии H от метающей системы. Величина H выбиралась такой, чтобы ослабитель не достигал пассивного заряда ВВ в течение исследуемого промежутка времени.

О состоянии реакции в пассивном заряде ВВ данной толщины h можно было судить по скорости свободной поверхности контрольной пластины 5, помещенной на торец заряда. Замер скорости производился емкостным датчиком 6, использованию которого предшествовала

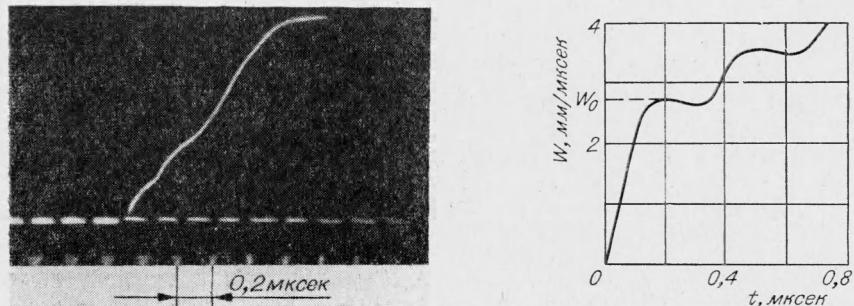


Рис. 2. Типичная осциллограмма. W_0 — скорость в первом волнобмене, соответствующая начальным параметрам отражения.

оценка точности метода [13, 14]. На рис. 2 представлена типичная осциллограмма записи скорости свободной поверхности контрольной пластины для условий отражения стационарной детонации ТНТ $\rho_0 = 1,51 \text{ г}/\text{м}^3$ и соответствующая обработка. В качестве регистрирующей аппаратуры использовался осциллограф ОК-17М. Высокая временная разрешающая способность ($0,1 \cdot 10^{-6}$ сек), а также высокая точность

метода позволяют получать достаточно надежные значения параметров отражения ИУВ или детонационной волны от контрольной пластины.

Толщина контрольной пластины δ выбиралась минимальной, чтобы исключить влияние отраженной ударной волны, однако такой, чтобы временная разрешающая способность аппаратуры позволяла достаточно надежно фиксировать начальные параметры отражения, т. е. скорость свободной поверхности за время первого волнообмена W_0 . В наших экспериментах $\delta = 1 \text{ мм}$, время волнообмена $\sim 0,3 \text{ мксек}$.

Расстояние перехода ИУВ в детонационную определялось следующим образом. Вначале ставился специальный эксперимент по замеру начальных параметров отражения W_c стационарной детонационной волны исследуемого ВВ от контрольной пластины. Затем производилась серия экспериментов, в которой определялось изменение начальных параметров отражения W_0 в зависимости от толщины h заряда ВВ для неизменной нагрузки. Сравнение с начальными параметрами отражения стационарной детонации позволяет определить расстояние перехода ИУВ в детонационную l . На рис. 3 представлены результаты экспериментов с ТНТ.

Расстояние l определяется как средняя величина между длиной заряда, на которой еще фиксируются параметры ниже, чем при стационарной детонации, и длиной заряда h , на которой начальные параметры соответствуют отражению стационарной детонационной волны.

Из рис. 3 видно, что для определения l в конкретных условиях эксперимента необходимо провести не менее 4—5 опытов. Зависимость $l(\rho_0)$ исследовалась в следующем диапазоне изменения условий нагружения:

$$p_u = 25 \div 70 \text{ кбар}; \quad \tau_u = 0,15 \div 1 \text{ мксек}.$$

С целью сокращения объема работ была использована методика рационального планирования экспериментов, изложенная в работе [15]. На рис. 4 изображен комбинационный прямоугольник (число факторов нечетное), использованный при планировании экспериментов. Весь прямоугольник разбит на 16 квадратов. Каждый квадрат соответствует определенному сочетанию уровней исследуемых факторов. Под уровнем понимается значение фактора. Так, фактор давление p_u — принимает четыре уровня — 25; 40; 55; 70 кбар; фактор плотность ρ_0 — соответ-

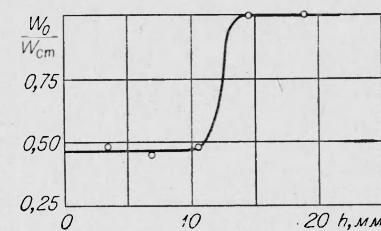


Рис. 3. Зависимость $\frac{W_0}{W_{cm}}(h)$ для $\rho_0 = 1,60 \text{ г/см}^3$, $p_u = 65 \text{ кбар}$, $\tau_u = 0,3 \text{ мксек}$, $l = 12 \text{ мм}$.

$\tau_u, \text{мксек}$	$p_u (\text{кбар}) \text{ при } \rho_0 (\text{г/см}^3)$															
	25				40				55				70			
	1,51	1,54	1,57	1,60	1,51	1,54	1,57	1,60	1,51	1,54	1,57	1,60	1,51	1,54	1,57	1,60
0,15			25			17							16	3,0		
0,30				28	15								13		5,0	
0,60		23					22		9,0							12
0,90	21							24	11						10	

Рис. 4. Комбинационный прямоугольник, используемый при планировании экспериментов.

Таблица 1

τ_u , мксек	p_u , кбар				$\sum l_i$	$l(\tau_u)$
	25	40	55	70		
0,15	25	17	16	3,0	61	15,2
0,30	28	15	13	5	61	15,2
0,60	23	22	9,0	12	66	16,5
0,90	21	24	11	10	66	16,5
$\sum l_i$	97	78	69	30	—	—
$l(p_u)$	24,2	19,5	17,2	7,5	—	—

Таблица 2

ρ_0 , г/см ³	p_u , кбар				$\sum l_i$	$l(\rho_0)$
	25	40	55	70		
1,51	21	15	9,0	3,0	48	12
1,54	23	17	11	5	56	14
1,57	25	22	13	10	70	17,5
1,60	28	24	16	12	80	20
$\sum l_i$	97	78	69	30	—	—
$l(p_u)$	24,2	19,5	17,2	7,5	—	—

исследуемого фактора при средних значениях прочных факторов. На рис. 5 изображены графики этих зависимостей. Из рассмотрения графиков видно, что зависимость расстояния установления детонации l от фактора τ_u в исследуемом диапазоне не проявляется. Это, по-видимому, связано с тем, что частично начавшаяся реакция является экраном для тыльных волн разрежения [6]. Зависимость $l(\rho_0)$ криволинейна, но проявляется более слабо, чем зависимость $l(p_u)$, которая является линейной, причем увеличение p_u приводит к уменьшению значения l .

Общая зависимость $l(p_u, \rho_0)$ является комбинацией частных зависимостей $l(p_u)$ и $l(\rho_0)$ и имеет вид:

$$l = 11,7 (2,51 - \rho_0)^{-5,30} - 0,387 (p_u - 47,5) \pm 2,05. \quad (1)$$

Доверительный интервал определен для значения коэффициента Стьюдента $t=2,132$ при доверительной вероятности $P=0,90$.

Зная зависимость (1) и используя ударную адиабату для ТНТ в виде $D=2,57 \div 1,88$ U, нетрудно получить зависимость времени индукции τ от тех же параметров. Результаты пересчета показывают, что τ следующим образом зависит от p_u и ρ_0 ,

$$\tau = 3,41 (2,51 - \rho_0)^{-5,30} - 0,120 (p_u - 47,5) \text{ мксек.} \quad (2)$$

Результаты расчетов по формуле (1) представлены на рис. 6, 7. Увеличение плотности прессования ρ_0 снижает чувствительность ВВ, что выражается в увеличении расстояния установления детонации с увеличением плотности. Увеличение инициирующего давления приводит к уменьшению расстояния установления детонации.

Поскольку в исследуемом диапазоне l не зависит от τ_u , то оказалось возможным провести сравнение полученных результатов с данными авторов, использовавших для нагружения пассивного заряда инертный ослабитель.

стременно равен 1,51; 1,54; 1,57; 1,60 г/см³; фактор времени действия давления τ_u — 0,15; 0,30; 0,60; 0,90 мксек.

На рис. 4 квадраты, обозначающие сочетания уровней, по которым необходимо провести замеры, выделены штриховкой. Эксперименты спланированы так, что удовлетворяют всем требованиям методики рационального планирования. Результаты экспериментов вписаны в каждый заштрихованный квадрат. Для построения зависимости в аналитическом виде применен метод случайного баланса [16]. В табл. 1 представлены значения искомой величины l при различных уровнях факторов p_u и τ_u , в табл. 2 — для различных уровней p_u и ρ_0 . В последних столбцах и строках этих таблиц представлены значения l от каждого

Результаты экспериментов хорошо согласуются с данными А. Н. Дремина [6] по исследованию расстояния установления детонации в ТНТ $\rho_0 = 1,59$, использовавшего для этих целей электромагнитный метод. По данным [6] при $p_u = 35 \text{ кбар}$, $l = 18 \text{ мм}$, расчет по (1) дает $l = 21,5 \text{ мм}$. Сравнение с результатами аналогичных исследований [7], но проведенных методом оптического плеча, приводит к противоречивым данным. Если для ТНТ $\rho_0 = 1,51$, $p_u = 68 \text{ кбар}$, то, по данным [7], $l = 7,5 \text{ мм}$, а расчет по (1) дает $l = 5,3 \text{ мм}$, т. е. результаты экспериментов согласуются хорошо. При большой плотности и давлении инициирования, которое по существу отличается на 2 кбар (что составляет $\sim 3\%$ от инициирующего давления $p_u = 70 \text{ кбар}$), в работе [7] наблюдалось уменьшение расстояния установления детонации, не согласующееся с нашими данными.

На рис. 8 изображены результаты экспериментов с ТНТ $\rho_0 = 1,51 \text{ г/см}^3$. Видно, что в момент установления детонации наблюдается немонотонное изменение зависимости $\frac{W}{W_c}(h)$, причем значение W_0 превышает те, которые соответствуют W_c при установленной детонации. Из этого следует, что в момент образования детонационной волны параметры на ее фронте превышают параметры на фронте нормальной (стационарной) детонационной волны, т. е. в момент образования детонации является перескоком относительно инертного несжатого ВВ. Подобный эффект можно объяснить догоном инициирующей ударной волны какою-то другой волной, формирующейся в зоне между фронтом инициирующей ударной волны и границей раздела ударника — ВВ.

Модель образования детонационной волны в этом случае может быть подобна модели Чайкена [1] при инициировании детонации в жидкких ВВ. Подобное явление догона наблюдалось авторами [17] при исследовании ударного инициирования гексолита (ТГ 20/80). Аналогичный эффект для прессованного ТНТ $\rho_0 = 1,51$ обнаружен Джекобсом [7]. На возможность подобного эффекта указывается также А. Н. Дреминым [18]. В работах [6, 19] было обнаружено, что в прессованном ТНТ за фронтом инициирующей ударной волны возникает дополнительный подъем массовой скорости. Такой процесс формирования детонационной волны может быть объяснен с позиций очагового характера тепловыделения, согласно которому химическое превращение развивается за инициирующим ударным фронтом в «горячих точках». Поскольку

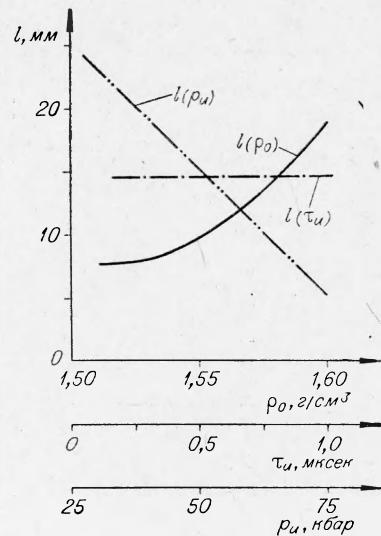


Рис. 5. Частные зависимости $l(p_0)$, $l(p_u)$, $l(\tau_u)$.

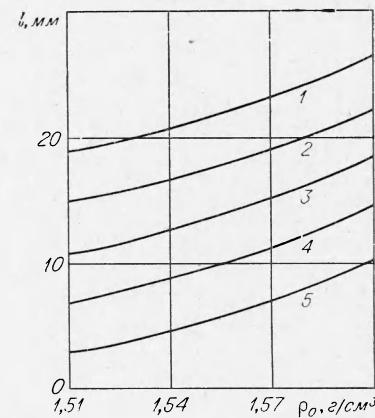


Рис. 6. Зависимость расстояния перехода ИУВ в детонационную от начальной плотности ρ_0 для различных значений давления инициирования p_u кбар:
1 — 30; 2 — 40; 3 — 50; 4 — 60; 5 — 70.

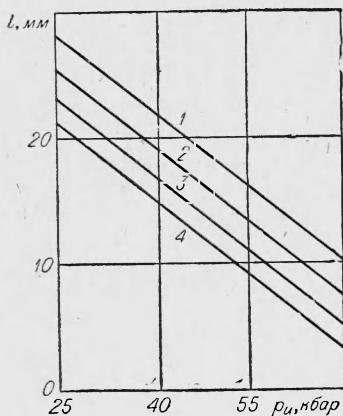


Рис. 7. Зависимость $l(p_u)$ для различных значений ρ_0 , g/cm^3 :
1 — 1,60; 2 — 1,57; 3 — 1,54; 4 — 1,51.

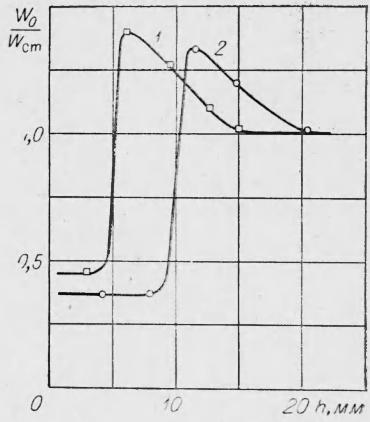


Рис. 8. Зависимость $\frac{W_0}{W_c}$ (h) для
 $\rho_0 = 1,51 g/cm^3$.
1 — $p_u = 70$ кбар; 2 — $p_u = 55$ кбар.

реакция взрывчатого разложения начинается локально, то возникает серия волн сжатия, распространяющихся во все стороны. В зависимости от интенсивности химической реакции они могут либо «экранировать» разгрузку с тыльной поверхности, либо выполнять не только «экранирующую» роль, но и являться усилителем инициирующей ударной волны (постепенный переход в детонацию). При достаточном количестве «горячих точек» интенсивность волн сжатия может быть такова, что детонационная волна сформируется в зоне за фронтом инициирующей ударной волны. В пользу этого говорит тот факт, что увеличение плотности (уменьшение пористости) приводит к несколько иному характеру формирования детонационной волны.

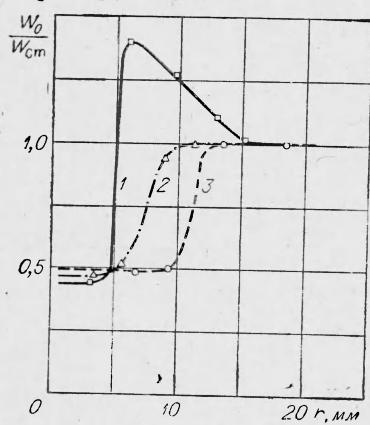


Рис. 9. Сравнение зависимостей $\frac{W_0}{W_c}$ (h) для различных значений ρ_0 .

(рис. 9, 1). Исследование плотностей, промежуточных между 1,51 и 1,60 показывает, что для ТНТ $\rho_0 = 1,57 g/cm^3$ характер перехода к детонации является еще более плавным, чем при $\rho_0 = 1,60$, а наличие выброса зависимости $\frac{W_0}{W_c}$ (h) не наблюдается (рис. 9, 2).

На рис. 9, 3 изображена зависимость $\frac{W_0}{W_c}$ (h) для ТНТ $\rho_0 = 1,60 g/cm^3$. Параметры детонационной волны вначале слабо растут, оставаясь почти постоянными, сам переход к детонационной волне носит плавный характер в отличие от перехода к детонации для ТНТ $\rho_0 = 1,51 g/cm^3$

Поступила в редакцию
6/VI 1972

ЛИТЕРАТУРА

1. R. F. Chaiken. J. Chem. Phys., 1960, **33**, 760.
2. B. C. Илюхин, П. Ф. Покиц. Докл. АН СССР, 1961, **140**, 1.
3. A. W. Campbell, W. L. Davis. a. o. Phys. Fluids, 1961, **4**, 498.

4. А. Н. Дремин, С. А. Колдунов, К. К. Шведов. ПМТФ, 1963, 6.
5. J. E. Lindstrom. J. Appl. Phys., 1966, 37, 4873.
6. А. Н. Дремин, С. А. Колдунов. Сб. «Взрывное дело», № 63/20, 1967.
7. S. J. Jacobs, T. P. Liddiard, B. E. Dighton. 9-th Symposium (International) on Combustion. New York — London, Academic Press 1963, p. 517.
8. J. B. Ramsay and A. Popolato. 4-th Symposium (International) on Detonation. Washington, 1967, p. 233.
9. И. М. Воскобойников, В. М. Богомолов, А. Я. Апин. ФГВ, 1969, 5, 4.
10. D. Stirge, J. O. Jonson, J. Wacherle. J. Appl. Phys., 1970, 41, 9.
11. J. E. Lindstrom. J. Appl. Phys., 1970, 41, 337.
12. С. Н. Буравова, А. Н. Дремин. ФГВ, 1971, 7, 1.
13. А. Г. Иванов, С. А. Новиков. ПТЭ, 1963, 1.
14. В. А. Летягин, В. С. Соловьев, М. М. Бойко, О. А. Кузнецов. III всесоюзный симпозиум по горению и взрыву. Автореф. докл. Черноголовка, 1971.
15. М. М. Протодьяконов, Р. И. Тедер. Методика рационального планирования экспериментов. М., «Наука», 1970.
16. А. В. Иванов, Г. К. Круг. Сб. «Экспериментально-статистические методы получения математического описания и оптимизации сложных технологических процессов». Вып. 2. М., НИИТЭХИМ, 1964.
17. H. Bergman, J. M. Lezland and I. Chevalier. In Behavior of Dense Media under High Dynamic Pressure. Gordon and Beach. N. Y., 1968, p. 51.
18. А. Н. Дремин, С. Д. Савров, В. С. Трофимов, К. К. Шведов. Детонационные волны в конденсированных средах. М., «Наука», 1970.
19. А. Н. Дремин, С. А. Колдунов. Тезисы 1-го всесоюзного симпозиума по горению и взрыву. М., «Наука», 1968.

УДК 662.215.1

ВЛИЯНИЕ АЛЮМИНИЯ НА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ И ВОЗБУЖДЕНИЕ ДЕТОНАЦИИ В В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ИСКРОЙ

*M. A. Мельников, B. B. Никитин
(Томск)*

Значительное влияние на чувствительность ВВ оказывает введение различного рода добавок, в зависимости от характера которых чувствительность ВВ к некоторым видам воздействия может измениться.

Известно [1—5], что присутствие небольших количеств инертных примесей, обладающих высокой температурой плавления и большой твердостью (стекло, корунд и др.), повышают чувствительность ВВ к удару, трению и, наоборот, добавки с низкой температурой плавления и большой пластичностью (воск, парафин и др.) снижают чувствительность этих же ВВ к тем же воздействиям. Не является в этом отношении исключением и влияние добавок на чувствительность ВВ, инициируемых электрическим разрядом. Однако до настоящего времени систематических исследований по влиянию добавок на чувствительность ВВ к электрическому разряду не проводилось.

Для выяснения механизма инициирования детонации электрическим разрядом представляют интерес исследования по влиянию добавок на чувствительность ВВ к разряду, чему и посвящена настоящая работа.

В работе [6] высказано предположение, что наиболее вероятным механизмом возбуждения детонации вторичных ВВ, инициируемых электрическим разрядом, является воспламенение частиц ВВ в результате термического действия плазмы разряда. Следовательно, в таком случае сенсибилизаторами должны быть такие вещества, которые могут воспламеняться в канале искрового разряда и сгорать с выделением