

работ по ударному сжатию кристаллов LiF [11, 14, 15] в предположении о зарождении дислокаций на неоднородностях развивается расчетная схема развития дислокационной структуры. Так, в [11] зарождением дислокаций на включениях  $MgF_2$  объясняется влияние примесей и термообработки на затухание упругого предвестника. Представляло бы большой интерес исследование влияния малых концентраций примесей на затухание упругого предвестника и профиль ударной волны в кристаллах меди.

**Замечание о критических давлениях.** Значения критических сжатий (и давлений) начала перестройки бездефектной решетки и решетки с точечными дефектами следует рассматривать как оценки сверху, поскольку: 1) отталкивательный потенциал Борна — Майера является простым, но не самым точным описанием атомных взаимодействий; 2) использование в расчетах значения  $r_0$ , несколько завышенного по сравнению с [3], приводит к более «мягкому» взаимодействию атомов, чем это обычно принимается для меди; 3) возможны ориентационные эффекты в пространственной решетке; 4) неоднородности массовой скорости при распространении ударной волны по кристаллической решетке также могут способствовать возникновению мест, благоприятных для зарождения перестройки. Проводимые в настоящее время расчеты постепенного сжатия кристаллической решетки ударной волной позволяют уточнить механизмы перестройки и значения кристаллических сжатий.

*Поступила в редакцию 20/IX 1977,  
после доработки — 24/XI 1977*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. М. А. Могилевский, В. В. Ефремов, И. О. Мынкин. ФГВ, 1977, 13, 5.
2. Р. Мак Куин, С. Марш.— В сб.: Динамические исследования твердых тел при высоких давлениях. М., «Мир», 1965.
3. R. A. Johnson, E. Brown. Phys. Rev., 1962, 127, 446.
4. А. Зегер. Дислокации и механические свойства кристаллов. М., ИЛ, 1960.
5. Deformation twinning. Ed. R. E. Reed-Hill, N. Y., Gordon, 1964.
6. T. B. Massalski, H. W. King. Progress in materials science. Vol. 10, N 1, N. Y., Pergamon Press, 1961.
7. М. Хансен, К. Андерко. Структура двойных сплавов. Т. II. М., Металлургиздат, 1962.
8. Дж. У. Тэйлор.— В сб.: Механика, № 8, 4 (98). М., «Мир», 1966.
9. O. E. Jones, J. D. Mote. J. Appl. Phys., 1969, 40, 4920.
10. L. E. Pope, J. N. Johnson. J. Appl. Phys., 1975, 46, 720.
11. J. M. Gupta, G. E. Duvall, G. R. Fowles. J. Appl. Phys., 1975, 46, 532.
12. P. P. Gillis, K. G. Hoge, R. J. Wasley. J. Appl. Phys., 1971, 42, 2145.
13. J. J. Gilman. J. Appl. Phys., 1959, 30, 1584.
14. J. R. Asay, D. L. Hicks, D. B. Holdridge. J. Appl. Phys., 1975, 46, 4316.
15. J. J. Dick, G. E. Duvall, J. E. Vorthman. J. Appl. Phys., 1976, 47, 3987.

### **ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР И ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ НА ДЕТОНАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ВОСПРИИМЧИВОСТЬ ВВ**

*Б. И. Шехтер, А. С. Державец, Н. К. Семенов, В. И. Павлов*

*(Москва)*

Условия применения термостойких взрывчатых веществ в прострелочно-взрывной аппаратуре определяют необходимость глубокого исследования влияния повышенных температур и давления на их детонацион-

ные характеристики. Влияние этих факторов должно быть обследовано в тех случаях, когда заряд взрывчатого вещества насыщается скважинной жидкостью, что характерно для условий работы детонирующих шнуров, торпед и т. д.

Часть указанных вопросов обследована и в [1, 2] и ряде других работ. Установлено, что нагрев, не приводящий к существенному разложению взрывчатого вещества, влияет на скорость детонации, изменяя ее в соответствии с изменением плотности, вследствие термического расширения заряда, повышает восприимчивость к детонационному импульсу и снижает критический диаметр твердого ВВ.

Поскольку с повышением давления интенсифицируются процессы термического разложения [3], исследование совместного влияния повышенных температур и давления на детонационные характеристики представляется одной из важнейших работ, направленных на прогнозирование эффективности протрельочно-взрывной аппаратуры в условиях практического использования и установления температурно-временных границ ее применения. Не менее важное значение имеет обследование влияния названных факторов и при насыщении зарядов жидкостью.

#### **Влияние температуры и давления на скорость детонации некоторых термостойких ВВ**

Влияние указанных выше факторов на скорость детонации в литературе рассмотрено весьма ограниченно. Помимо упомянутых следует отметить работу [4], в которой изучено влияние температуры в интервале  $-3 \div +77^\circ\text{C}$  и давления ( $0,1 \div 60$  МПа) на скорость детонации изопропилнитрата и установлено некоторое увеличение скорости детонации при повышении давления и снижение критического диаметра при росте температуры. В [5, 6] показано, что насыщение ВВ жидкостью приводит к повышению скорости детонации, но снижает при этом восприимчивость.

Выполненные в [2] исследования по влиянию температуры и длительности нагрева на скорость детонации проводились на зарядах без оболочки. Если прочность шашек была незначительной, то при термостатировании происходило увеличение объема шашки, который после прекращения нагрева не восстанавливался полностью. Плотность шашек в момент прекращения нагрева была меньше ее плотности после охлаждения, шашка деформировалась необратимо. Этим и объясняется довольно существенное снижение скорости детонации, измеренной после нагрева и охлаждения.

Естественно, что влияние температуры и давления целесообразно изучать на зарядах в оболочках, поскольку такие заряды находят широкое применение в практике протрельочно-взрывных работ в скважинах и используются в первую очередь в тех случаях, когда на них действуют оба упомянутых фактора. В качестве объекта изучения взяты удлиненные шнуровые заряды в алюминиевой оболочке с толщиной стенки 0,5 мм, характеристика которых приведена в табл. 1. Скорость детонации измерялась с помощью электронно-счетного частотомера ЧЗ-34А с разрешающей способностью  $10^{-8}$  с. При базе измерения 200—400 мм суммарная ошибка не превышала 0,3%. Методика исследования предусматривала испытания непосредственно в условиях повышенных температур в термостатах и одновременного воздействия температур и гидростатических давлений в сосудах высокого давления (СВД), с этой целью разработаны схемы измерений, соответствующие датчики и устройства.

Испытания в условиях повышенных температур (результаты, средние значения которых получены путем 4—7 параллельных измерений, приведены в табл. 2) показывают, что при росте температуры для всех исследуемых ВВ, за исключением октогена при температуре свыше  $170^\circ\text{C}$ ,

Таблица 1

## Характеристика удлиненных зарядов

Заряд	ВВ	Диаметр ВВ, м/м	Масса ВВ, г/м	Предельные условия применения		Плотность ВВ*, г/см <sup>3</sup>			
				температура, °С	гидростат. давл., МПа	$\rho_0$	$\rho_T$	$\rho_p$	$\rho_{pT}$
ДУЗТВ 150/800	Гексоген	5,0	30—32	150	80	1,50	1,41	1,69	1,63
ДУЗТВ 170/1000	Октоген	5,0	31—33	170	100	1,55	1,47	1,73	1,67
ДУЗТ-250	НТФА	4,0	19—20	250	150	1,44	1,35	1,61	1,52
ДУЗТВ 250/1500	НТФА	12,0	145—150	230	150	1,40	1,31	1,57	1,48

\* Плотность ВВ:  $\rho_0$  — в состоянии поставки,  $\rho_T$  — при предельной температуре,  $\rho_p$  — при комнатной температуре, повышенном давлении и насыщении,  $\rho_{pT}$  — при предельном давлении, температуре и при насыщении.

претерпевающего фазовый переход, скорости детонации несколько (на 3—5%) повышаются, несмотря на уменьшение плотности зарядов. Однако при дальнейшем повышении температуры и времени выдержки наблюдается снижение скорости детонации вследствие термического разложения ВВ. При насыщении зарядов в условиях повышенных давлений жидкостью и при одновременном воздействии температуры (табл. 3) происходит более значительное повышение скорости детонации (на 5—11%).

## Возбуждение детонации зарядов в условиях повышенных гидростатических давлений и температур

Определение параметров УВ, необходимых для возбуждения зарядов термостойких ВВ, имеет важное практическое значение для определения условий эффективной работы таких зарядов. Проведенные расчеты по сопоставлению температуры ударно-сжатой воды, заполняющей поры заряда, и ВВ показали, что инициирование взрывной реакции происходит вследствие поджигания с поверхности кристаллов ВВ водой. Зажигание должно произойти с задержкой, приблизительно равной времени тепловой релаксации воды, и за время, меньшее времени прихода волны разрежения к оси заряда ( $t_3 \leq t_p$ ). Очевидно,  $t_3$  зависит от диаметра заряда, поскольку он (при известных параметрах УВ) определяет значение  $t_p$ . Аналогичный механизм возбуждения зарядов гексогена,

Таблица 2

## Скорость детонации зарядов при повышенных температурах

Заряд	Температура испытаний, °С	Скорость детонации (м/с) в условиях				
		состояния поставки	нагрев, отстрел	нагрев, охлаждение, отстрел	нагрев, выдержка 6 ч, отстрел	нагрев, выдержка 6 ч, охлаждение, отстрел
ДУЗТВ 150/800	150	7940	8200	8475	—	7980
	170	7940	—	8055	—	7030
ДУЗТВ 170/1000	150	8010	8275	8085	—	8000
	170	8010	7965	8020	7780	7960
	200	8010	—	8160	—	7985
ДУЗТ-250	200	6210	6385	6175	6180	6165
	250	6210	—	6050	—	6080

Т а б л и ц а 3

## Скорость детонации водонасыщенных зарядов

Заряд и снаряжения	Скорость детонации в состоянии поставки	Скорость детонации (м/с) в условиях				
		$P=1$ атм	$p=30-80$ МПа	$p=80$ МПа, $T=150^{\circ}\text{C}$	$p=100$ МПа, $T=170^{\circ}\text{C}$	$p=120$ МПа, $T=220^{\circ}\text{C}$
ДУЗТВ 150/800	7940	8370	8570	8510	—	—
ДУЗТВ 170/1000	8010	8400	8560	8475	8460	—
ДУЗТВ 250/1500	6080	6635	6790	6610	6840	6820

наполненных жидкостью, высказан в работе [7], однако значения параметров УВ, полученные авторами, не обеспечивают возбуждения детонации таких зарядов. По-видимому, авторам в условиях эксперимента не удалось полностью избавиться от воздушных включений, которые и служили источниками поджигания — начальными очагами реакции.

В качестве объектов исследований взяты изделия, характеристики которых приведены в табл. 1. Насыщение зарядов жидкостью осуществлялось в СВД, затем определялось предельное расстояние безотказной детонации через слой воды от соответствующего взрывного патрона с известными параметрами УВ в воде.

По ударным адиабатам ВВ (сухих и водонаполненных), установленных по методу, рассмотренному в [8], и характеристикам ударного сжатия воды [9] определены параметры УВ (табл. 4) при подходе к

Т а б л и ц а 4

## Критические параметры инициирования водонаполненных зарядов

Заряд	Диаметр ВВ, мм	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Параметры УВ в воде			Параметры ИУВ в заряде			$T_{ВВ}, \text{К}$	$T_{H_2O}, \text{К}$
			$p_1, \text{ГПа}$	$U_1, \text{м/с}$	$D_1, \text{м/с}$	$p_2, \text{ГПа}$	$U_2, \text{м/с}$	$D_2, \text{м/с}$		
ДУЗТВ 150/800	5,0	$\rho_0=1,55$	+1,3	500	2520	1,6	430	2400	—	—
			—1,1	450	2410	1,3	390	2200	—	—
		$\rho_p=1,69$	+5,9	1420	4170	9,2	1120	4860	475	780
			—5,2	1310	3950	8,2	1040	4660	—	—
			$\rho_p T=1,63$	+5,2	1380	4050	8,0	1080	4540	575
—4,8	1320	3910		7,5	1040	4420	—	—		
ДУЗТВ 170/800	5,0	$\rho_0=1,57$	+2,0	750	2870	3,0	610	3130	—	—
			—1,5	580	2630	2,2	490	2860	—	—
		$\rho_p=1,73$	+6,7	1550	4340	10,8	1200	5200	520	910
			—5,8	1400	4120	9,6	1120	5000	—	—
			$\rho_p T=1,67$	+5,8	1470	4210	9,2	1150	4790	600
—5,2	1380	4020		8,3	1070	4640	—	—		
ДУЗТ-250	4,0	$\rho_0=1,44$	+2,7	850	3160	3,2	820	2720	—	—
			—2,1	720	2940	2,3	680	2350	—	—
		$\rho_p=1,59$	+7,6	1670	4690	10,5	1400	4720	695	875
			—6,7	1550	4340	9,3	1300	4500	—	—
			$\rho_p T=1,49$	+6,7	1650	4510	9,3	1400	4460	860
—5,8	1510	4270		8,1	1290	4210	—	—		
ДУЗТВ 250/150	12,0	$\rho_p=1,57$	+5,2	1310	3960	7,2	1100	4170	540	640
			—4,4	1170	3700	5,9	970	3830	—	—
		$\rho_p T=1,48$	+4,1	1210	3750	5,7	1040	3700	710	820
			—3,6	1120	3600	4,9	950	3480	—	—

зарядам и параметрам УВ, возбужденных в них (со знаком плюс в таблице приведены параметры УВ, вызывающие безотказную детонацию, со знаком минус — не вызывающие детонацию). Приведены в табл. 4 температуры воды, заполняющей поры зарядов, определены по давлению в УВ [9], а температура кристаллов ВВ вычислена по расчетным значениям удельной теплоемкости веществ и уравнению состояния в форме Ми — Грюнайзена [10].

Как видно из табл. 4, насыщение пор зарядов, происходящее в условиях повышенных давлений, приводит к значительному снижению их восприимчивости к детонационному импульсу. В то же время повышение температуры и увеличение до определенного значения диаметра заряда снижает критические параметры УВ.

*Поступила в редакцию  
29/VIII 1977*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ф. А. Баум, А. С. Державец и др. Термостойкие взрывчатые вещества и их действие в глубоких скважинах. М., «Недра», 1969.
2. Б. И. Шехтер, А. С. Державец, М. Н. Крощенко. Второй Всесоюзный симпозиум по горению и взрыву. Тез. докл. Черногловка, 1969.
3. Ф. А. Баум, Л. А. Шипицин. ФГВ, 1966, 2, 1.
4. C. Grosset. *Astronautica Acta*, 1970, 5, 5—6.
5. В. Б. Иоффе, Б. А. Мельников.— В сб.: Взрывное дело, № 71/28. М., «Недра», 1972.
6. М. Ф. Друкованный, В. М. Комир, О. Н. Оберемок.— В сб.: Горение и взрыв. М., «Наука», 1972.
7. А. Н. Афанасенков, В. А. Даниленко. ФГВ, 1975, 11, 6.
8. А. Н. Афанасенков, В. М. Богомолов, И. М. Воскобойников.— В сб.: Взрывное дело, № 68/25. М., «Недра», 1970.
9. M. H. Rice, J. M. Walsh. *J. Chem. Phys.*, 1957, 26, 4.
10. Цянь Сюэ-сень. Физическая механика. М., «Мир», 1965.