

## ЛИТЕРАТУРА

1. В. С. Иванова, Л. М. Устинов. Физика и химия обработки материалов, 1967, 5.
2. Л. Р. Ботвица, В. С. Иванова, И. М. Копьев. Физика и химия обработки материалов, 1968, 3.
3. C. V. Jarvis, R. M. B. Slatte. Nature, 1968, 220, 5169.
4. И. М. Копьев, Л. М. Устинов. Физика и химия обработки материалов, 1972, 2.

## О ЗАВИСИМОСТИ ИМПУЛЬСА ОТДАЧИ ОТ ЖЕСТКОСТИ ПРЕГРАДЫ В РЕЖИМЕ СКОЛЬЗЯЩЕЙ ДЕТОНАЦИИ СЛОЯ ВВ

А. П. Погорелов, Б. Л. Глушак, С. А. Новиков,  
В. А. Синицын, А. В. Чернов

Взаимодействие детонационной волны, падающей тангенциально к поверхности раздела слоя ВВ с твердым телом (преградой), исследуется в последние годы в связи с изучением процесса сварки и упрочнения взрывом [1] и конструированием взрывных устройств для ускорения плоских ударников до малых (порядка сотни метров в секунду) скоростей. В дальнейшем режим тангенциального падения детонационной волны на поверхность преграды будем называть режимом скользящей детонации. Основной изучаемый параметр взаимодействия — максимальная скорость движения преграды или механический импульс, ей сообщаемый.

Расчетно-теоретическим путем этот вопрос рассматривался в [1, 2]. В [2] показано, что для типичных металлов (Fe, Al, Pb) максимальная скорость движения преград слабо зависит от их сжимаемости. Это обстоятельство позволяет в первом приближении считать преграды из металла несжимаемыми, что существенно упрощает расчетный анализ. По [2] скорость движения преграды  $w$ , а также сообщаемый ей импульс  $I$  могут быть представлены как функция только удельного энергосодержания ВВ  $\varepsilon_0$  и отношения удельной массы ВВ к удельной массе преграды

$$w = w(\alpha, \varepsilon_0), \quad I = I(\alpha, \varepsilon_0)$$

( $\alpha = m_{\text{ВВ}}/m_{\text{п.п.}}$ ,  $m_{\text{ВВ}}$  и  $m_{\text{п.п.}}$  — соответственно масса ВВ и преграды на единицу поверхности).

Проведенные расчеты методом характеристик с кубическим уравнением состояния ПВ для бесконечного слоя ВВ, размещенного на абсолютно жесткой преграде (формально такое условие отвечает  $\alpha=0$  в работе [2]), дают значение удельного механического импульса, сообщаемого преграде

$$i = 0,3 m_{\text{ВВ}} D, \quad (1)$$

где  $D$  — скорость детонации ВВ.

Зависимость давления, действующего в заданной точке преграды, от времени, а также сообщенный преграде удельный импульс к заданному моменту времени показаны на рис. 1. (На рис. 1,  $a$   $p_{\text{ж}}$  — давление в точке Жуге). Для сравнения там же нанесены соответствующие зависимости для режима нормального падения детонационной волны. Как следует из рис. 1,  $b$ , к моменту

$$t_0 = 3\delta_{\text{ВВ}}/D \quad (2)$$

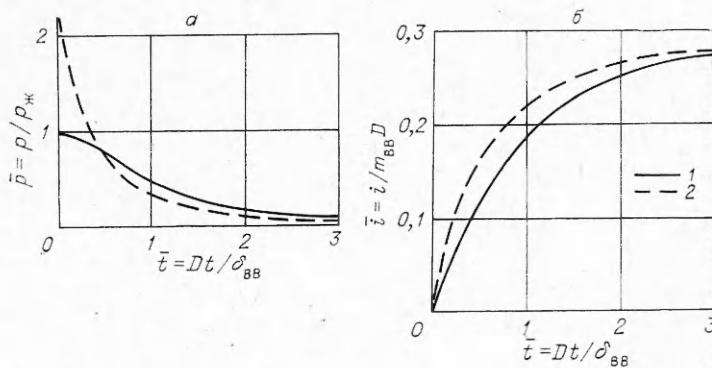


Рис. 1. Зависимости относительного давления  $\bar{p}$  в заданной точке (а) и относительного удельного импульса  $i$  от времени  $t$  (б).  
1 — тангенциальное падение детонационной волны на преграду; 2 — нормальное падение детонационной волны на преграду.

( $\delta_{\text{ВВ}}$  — толщина слоя ВВ) преграде сообщается более 90% полного значения импульса. Учет сжимаемости реальных твердых тел не изменяет радикальным образом соотношения (2).

При нормальном и тангенциальном падении детонационной волны с кубическим уравнением состояния ПВ на абсолютно жесткую преграду на последнюю действует практически одинаковый удельный импульс  $i = \int p(t)dt$ :  $i = 0,296 m_{\text{ВВ}}D$  и  $i = 0,3 m_{\text{ВВ}}D$  соответственно. Имея в виду, что при нормальном падении максимальное давление на преграду в 2,37 раза больше, чем при тангенциальном падении, равенство  $i$  означает большую характерную длительность действия давления на преграду при тангенциальном падении.

Некоторые результаты экспериментальных исследований воздействия скользящей детонационной волны на преграду представлены в [2, 3]. Однако данные о зависимости  $i$  от жесткости  $\rho_0 C_0^2$  отсутствуют<sup>1</sup>.

В настоящем сообщении представлены результаты экспериментального изучения зависимости  $i$  от  $\rho_0 C_0^2$  на ряде металлов и органических материалов. Под величиной  $C_0$  понимается объемная скорость звука. В опытах методом баллистического маятника [4] измерялась величина импульса отдачи разлетающихся продуктов взрыва при скользящей детонации слоя ВВ. Толщина преграды выбиралась достаточно большой, так что выполнялось неравенство

$$t_0 = 3\delta_{\text{ВВ}}/D < 2\delta_{\text{пп}}/C_0,$$

где  $\delta_{\text{пп}}$  — толщина преграды.

Преграда жестко крепилась к маятнику, что исключало возможность ее отлета. Во всех опытах  $m_{\text{пп}} > m_{\text{ВВ}}$ , величина  $m_{\text{пп}}$  изменялась в пределах до 10 кг/м<sup>2</sup>. Результаты измерений с ВВ, имеющими скорость детонации 7800 (сплошная кривая) и 7600 м/с (штриховая кривая) представлены на рис. 2. Величина удельного механического импульса приведена к единице массы ВВ. Каждая экспериментальная точка представляет среднеарифметическое значение из 5—6 опытов. Средняя квадратичная погрешность с вероятностью 67% составляет  $\pm 0,02 \cdot 10^3$  м/с. Для ВВ с  $D = 7800$  м/с предельные значения составляют

$$i_{\max}/m_{\text{ВВ}} = 2,34 \cdot 10^3 \text{ м/с при } \rho_0 C_0^2 \rightarrow \infty,$$

$$i_{\min}/m_{\text{ВВ}} = 1,17 \cdot 10^3 \text{ м/с при } \rho_0 C_0^2 \rightarrow 0.$$

<sup>1</sup> Под жесткостью преграды понимается величина, обратная сжимаемости.

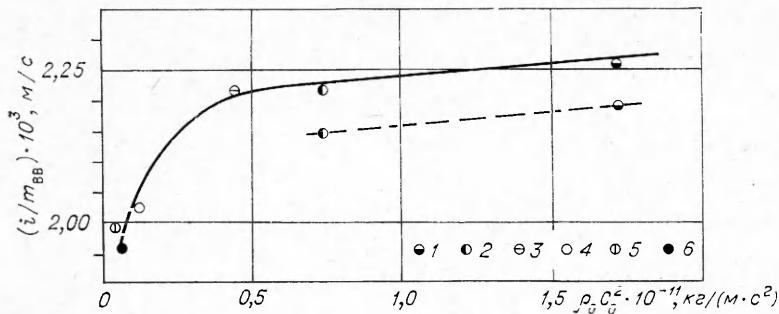


Рис. 2. Зависимость удельного механического импульса, сообщаемого преграде при скользящей детонации слоя ВВ с  $m_{\text{ВВ}} \leq 10 \text{ кг/м}^2$ , от жесткости преграды.

1 — Fe; 2 — Al; 3 — Pb; 4 — поликарбонат; 5 — фторопласт ФТ-4; 6 — полиэтилен.

Последнее предельное соотношение следует из факта симметричного разлета ПВ в обе стороны относительно неподвижной срединной плоскости слоя ВВ. При этом импульс  $i_{\min}$  разлетающихся в каждом направлении ПВ составляет половину от значения  $i_{\max}$ . Из рис. 2 видно, что при  $\rho_0 C_0^2 \geq 0,5 \cdot 10^{11} \text{ кг}/(\text{м} \cdot \text{с}^2)$  величина  $i/m_{\text{ВВ}}$  монотонно стремится к своему предельному значению  $i_{\max}/m_{\text{ВВ}}$ . Напротив, при малых значениях жесткости преграды ( $\rho_0 C_0^2 < 0,5 \cdot 10^{11} \text{ кг}/(\text{м} \cdot \text{с}^2)$ )  $i/m_{\text{ВВ}}$  весьма резко убывает с уменьшением значения  $\rho_0 C_0^2$ . Сильное влияние жесткости при малых  $\rho_0 C_0^2$  было показано в специальных опытах, в которых в качестве преграды использовался пенополистирол с  $\rho_0 \approx 0,5 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Несмотря на отлет и выгорание части пенополистирола, что приводит к заметному возрастанию импульса, измеренная величина  $i/m_{\text{ВВ}}$  равнялась  $1,7 \cdot 10^3 \text{ м/с}$ . Слабое влияние жесткости типичных металлов на величину  $i$ , полученное в настоящей работе, совпадает с результатами [1, 2].

Падение величины импульса при уменьшении жесткости преграды можно объяснить возрастанием величины и скорости смещения границы ПВ — преграды, что приводит к разлету части продуктов взрыва в направлении ее движения. Масса этой части ПВ возрастает с уменьшением жесткости, стремясь в предельном случае ( $\rho_0 C_0^2 \rightarrow 0$ ) к половине массы ВВ. Результаты экспериментов с различными ВВ в пределах ошибки измерений и с учетом формулы (1) хорошо согласуются друг с другом.

Проведенные исследования дают возможность сделать следующие выводы:

1. При детонации тонких по сравнению с толщиной преграды слоев ВВ сообщаемый преграде в режиме тангенциального падения удельный механический импульс слабо зависит от жесткости преграды, если  $\rho_0 C_0^2 \geq 0,5 \cdot 10^{11} \text{ кг}/(\text{м} \cdot \text{с}^2)$ .
2. Для типичных металлов (Fe, Al, Pb) величина удельного механического импульса близка к предельному значению, определяемому соотношением  $i = 0,3 m_{\text{ВВ}} D$ .
3. Удельный механический импульс, сообщаемый преградам с  $\rho_0 C_0^2 < 0,5 \cdot 10^{11} \text{ кг}/(\text{м} \cdot \text{с}^2)$ , в сильной степени зависит от величины  $\rho_0 C_0^2$ , имея предельное значение  $i = 0,15 m_{\text{ВВ}} D$  при  $\rho_0 C_0^2 \rightarrow 0$ .

Поступила в редакцию  
18/VI 1976

## ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Дерибас. Физика упрочнения и сварки взрывом. Новосибирск, «Наука», 1972.
  2. N. E. Hoskin, I. W. S. Allan, W. A. Bailey et al. Fourth Symposium (International) on Detonation. Maryland, 1965.
  3. А. Н. Михайлов, А. Н. Дремин. ФГВ, 1974, 10, 6.
  4. Ф. А. Баум, К. П. Станюкович, Б. И. Шехтер. Физика взрыва. М., Физматгиз, 1959.
- 

## ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ЗАРЯДА НА СТЕПЕНЬ ДЕФОРМАЦИИ ТРУБ

*E. Ф. Горбунов, А. Г. Иванов,  
В. А. Могилев, Ю. А. Фатеев*

Процесс деформации и разрушения тонких стальных труб при подрыве в них сосредоточенных зарядов ВВ шаровой формы исследовался в работах [1—3]. Цель настоящей работы — изучение характера деформации труб после взрыва в них расположенных соосно зарядов фиксированной массы ВВ цилиндрической формы при различных отношениях диаметра к длине, а также зарядов в виде сферы.

В опытах использовались литые заряды ВВ из сплава ТГ 50/50. При взрыве 1 г ВВ выделяется энергия 1140 кал. Взрыв возбуждался

Характеристика труб	Номер опыта	Параметры зарядов				$\varepsilon, \%$
		$2r, \text{мм}$	$h, \text{мм}$	$m, \text{г}$	$h/r$	
Цельнотянутые, Ст. 20, $L=500 \text{ мм}, 2R_0=255 \text{ мм}, \delta/R_0=0,072$	1	240	6,3	500	0,05	0,6
	2	153	15	470	0,20	2,1
	3	120	24	475	0,40	5,1
	4	90	44	485	0,98	10,8
	5	60	95	470	3,17	23
	6	30	400	490	26,67	5,7
	7	26	500	460	38,46	3,8
	8 *	80	—	470	—	8,6
	9 *	80	—	435	—	7,2
Сварные, Ст. 3, $L=1000 \text{ мм}, 2R_0=606 \text{ мм}, \delta/R_0=0,04$	10	400	20	4000	0,10	1,9
	11	310	33	4350	0,21	5,1
	12	240	55	4420	0,46	14,0
	13	120	220	4350	3,67	Труба разрушена
	14	60	900	4450	30,0	

\* Сферический заряд.

в центре одного из оснований цилиндрического заряда посредством подрыва капсюля-детонатора. При инициировании сферического заряда капсюль устанавливался на его поверхности соосно с трубой.

Во всех опытах заряды располагались в середине труб, длина которых приблизительно в два раза превышала их диаметр. Характеристики зарядов и труб приведены в таблице, где  $L, R, \delta$  — длина тру-