

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Дерибас. Физика упрочнения и сварки взрывом. Новосибирск, «Наука», 1972.
2. N. E. Hoskin, I. W. S. Allan, W. A. Bailey a. o. 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

*Е. 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	0,93	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 раз-
	14	60	900	4450	30,0	рушена

* 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, δ — длина тру-

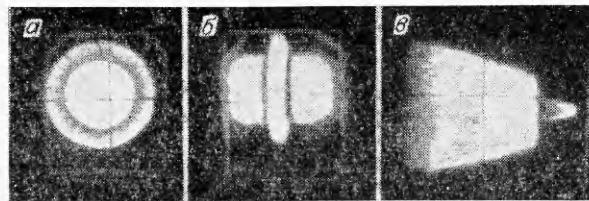


Рис. 1. Фрагменты кинограмм разлета ПВ при детонации зарядов ВВ цилиндрической формы.

а) $h/r=0,065$, заряд расположен соосно с кинокамерой; б, в) $h/r=0,065$ и 31, ось заряда перпендикулярна оси кинокамеры.

бы, ее начальный радиус и толщина стенки соответственно. Цилиндрические заряды в трубах крепились на диске из фанеры, если длина заряда h мала в сравнении с его диаметром $2r$, либо на деревянной рейке, расположенной параллельно оси заряда. Сферические заряды устанавливались на фанерных подставках.

После подрыва заряда ВВ измерялась остаточная деформация трубы ϵ в ее центральном сечении (результаты измерений также приведены в таблице). В некоторых опытах трубы разрушались, причем трещины проходили по образующей. В каждой трубе проводился только один подрыв заряда.

Для выявления характера воздействия продуктов взрыва (ПВ) цилиндрических зарядов на стенки труб были проведены опыты с киносъемкой взрыва в свободной атмосфере при $h/r=6,5 \cdot 10^{-2}$ и $h/r=31$.

Разлет регистрировался двумя синхронно работающими скоростными кинокамерами с двух взаимно перпендикулярных направлений, с частотой съемки 10^5 кадр/с. Оптическая ось одной из камер совпадала с осью цилиндрического заряда ВВ (рис. 1). Зависимость величины остаточной деформации от h/r для труб диаметром 255 мм, как следует из рис. 2, имеет ярко выраженный максимум. Так, при изменении h/r от 0,05 до 38 величина деформации изменялась более чем на порядок, достигая максимального значения при $h/r=3,1$. Результаты опытов 10—14 с трубами диаметром 606 мм не противоречат результатам экспериментов с трубами диаметром 255 мм.

Деформация труб от взрыва сферических зарядов ВВ в опытах 8,9 составила $\epsilon=8,6$ и $7,2\%$, что соответствует случаю взрыва заряда той же массы цилиндрической формы с $h/r=0,7$. Объяснение полученной зависимости $\epsilon(h/r)$, по-видимому, состоит в том, что при изменении формы заряда фиксированной массы изменяется и масса ПВ, приходящаяся на единицу длины трубы в ее центральном сечении $m_{уд}$, достигая максимума при $h/r=1$.

Действительно, $m_{уд}$ можно оценить, предположив мгновенное осевое инициирование заряда. В этом случае, согласно [4], масса ПВ, разлетающаяся в радиальном направлении, ограничена цилиндрической поверхностью заряда и линиями столкновения волн разрежения, распространяющихся с плоских оснований. При этом возможны два характерных случая в зависимости от значения величины h/r . При $h/r \leq 2$ реализуется случай рис. 3, а, характерный для цилиндров малой высоты, когда масса единичного кольца, разлетающегося в радиальном направлении в центральном сечении заряда пропорциональна

$$m_{уд} \sim r^2 - (r - h/2)^2 \sim (h/r)^{1/2} \cdot (1 - 1/4 \cdot h/r), \quad (1)$$

а основная масса ПВ разлетается в осевом направлении, не воздействуя на стенки трубы (см. рис. 1, а).

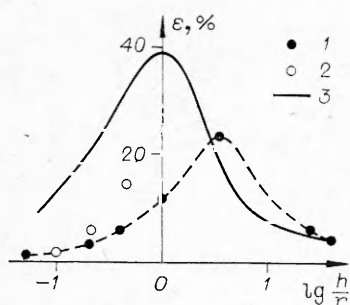


Рис. 2. Величина остаточной деформации.

1 — опыты 1—7; 2 — опыты 10—12; 3 — расчет по (1) и (2).

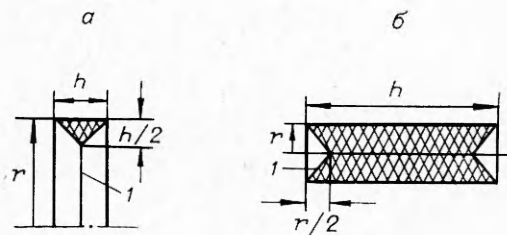


Рис. 3. Взаимодействие волн разрежения при осевом инициировании заряда. Заштрихованная масса ПВ разлетается в радиальном направлении.

1 — линии столкновения волн разрежения.

Другой случай, характерный для вытянутых зарядов, реализуется при $h/r \geq 2$ (см. рис. 1, а и 3, б), когда

$$m_{уд} \sim r^2. \quad (2)$$

Зависимость $m_{уд}(h/r) : m_{уд}(38,5)$ (с учетом совпадения соотношений (1) и (2) при $h/r=2$) для зарядов массой 0,5 кг нанесена на рис. 2.

Энергия, поглощаемая в области центрального сечения трубы, пропорциональна, с одной стороны, величине остаточной деформации (предполагается, что труба изготовлена из жестко-пластического материала), а с другой — $m_{уд}$ для вытянутых зарядов ВВ ($h > r$) и $m_{уд}^2$ для зарядов малой высоты ($h < r$) [4], т. е. $\varepsilon \sim m_{уд}$ при $h > r$ и $\varepsilon \sim m_{уд}^2$ при $h < r$. Отсюда с учетом (1) и (2) становится понятным существование максимума в зависимости $\varepsilon = f(h/r)$, обнаруженного в экспериментах.

Имеющееся расхождение в положении экспериментального и расчетного максимумов вызвано, по-видимому, тем обстоятельством, что при малых значениях h существует значительный градиент $m_{уд}$ по образующей трубы.

Таким образом, при подрыве в трубе фиксированной массы цилиндрического заряда ВВ малой высоты отбор энергии взрыва стенками минимален в том случае, когда радиусы заряда и трубы близки. Максимальный отбор энергии происходит при подрыве заряда, у которого $h \approx r$.

Поступила в редакцию
12/IV 1976

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Г. Иванов, С. А. Новиков, В. А. Синицын. ПМТФ, 1968, 6.
2. А. Г. Иванов, А. Н. Кочкин и др. ФГВ, 1974, 10, 1.
3. А. Г. Иванов, В. Н. Минеев и др. ФГВ, 1974, 10, 4.
4. Ф. А. Баум, К. П. Станюкович, Б. И. Шехтер. Физика взрыва. М., «Наука», 1974.