

ОСОБЕННОСТИ ИМПУЛЬСНОГО СХЛОПЫВАНИЯ СТАЛЬНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК, ЗАПОЛНЕННЫХ ВОДОЙ

В. А. Огородников

*Всероссийский НИИ экспериментальной физики,
607200 Арзамас-16*

Представлены результаты экспериментального исследования импульсного схлопывания стальных цилиндрических оболочек, полость которых заполнена воздухом или водой. Установлено, что этот процесс имеет особенности, связанные с существованием волн сжатия в воде, которые препятствуют схлопыванию стенок с полным перекрытием проходного канала оболочки.

Процесс схлопывания цилиндрических оболочек или труб под действием импульсной нагрузки исследован достаточно полно [1]. Импульсная нагрузка создавалась, как правило, подрывом заряда взрывчатого вещества (ВВ), концентрически расположенного на поверхности участка оболочки длиной $l \approx (1 \div 2)R_0$, где R_0 — начальный наружный радиус оболочки. Толщина заряда ВВ выбиралась из условия полного перехода начальной кинетической энергии оболочки в работу пластической деформации при подлете оболочки к оси симметрии. При заполнении полости оболочек воздухом удавалось достигать практически полного пережатия их проходного отверстия. На этом принципе разработаны и используются в ряде экспериментов быстродействующие взрывные затворы для отсекаания потоков осколков, продуктов взрыва и т. п.

Это обстоятельство явилось поводом для обсуждения возможности использования рассмотренного способа при аварийном перекрытии участков трубопроводов, например с паром, водой, нефтью или газоконденсатом. Поскольку вопрос об импульсном схлопывании оболочек с полостью, заполненной более плотной чем воздух средой, практически не исследован, то данная работа посвящена этому вопросу.

Использовались цельнотянутые трубы из Ст. 20, заполненные перед импульсным схлопыванием воздухом или водой. Схема постановки экспериментов приведена на рис. 1. На поверхности оболочки с толщиной стенки a размещался вплотную или через прокладку толщиной h_1 слой пластического заряда ВВ с плотностью $\rho_0 = 1,51 \text{ г/см}^3$ и скоростью детонации $D = 7,8 \text{ км/с}$ (толщина h_2 и ширина l), над которым размещался в ряде опытов экран толщиной h_3 . Детонация заряда ВВ возбуждалась в одной точке. Исследовались оболочки, имеющие процентность $\delta = a/R_0 \approx 5 \div 20 \%$, т. е. оболочки, которые сходятся устойчиво ($\delta > 10 \%$) или теряют устойчивость в процессе своего движения к оси симметрии ($\delta < 10 \%$) [2]. Отношение длины оболочек к их диаметру $L/2R_0 = 10$. После динамического нагружения таких оболочек определялась величина средней относительной деформации $\epsilon_* = \frac{R_0 - R_*}{R_0}$, где R_* — наружный диаметр оболочки после нагружения. На рис. 2 приведены фотографии оболочек после нагружения, а в таблице постановка и результаты опытов (номер опыта и позиции на рис. 2).

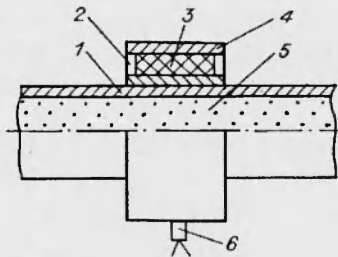


Рис. 1. Схема постановки экспериментов:

1 — оболочка; 2 — прокладка; 3 — заряд ВВ; 4 — экран; 5 — полость оболочки; 6 — капсюль-детонатор.

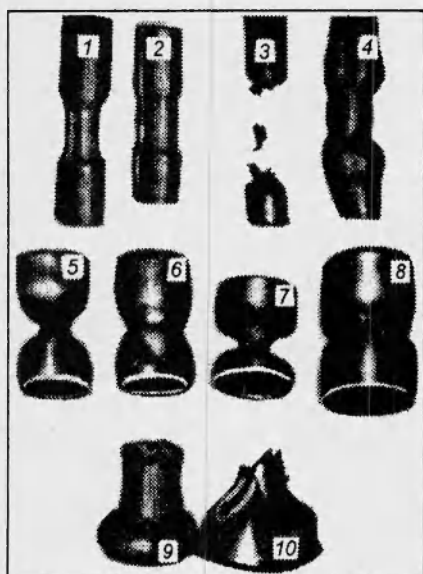


Рис. 2. Фотографии оболочек после взрывного нагружения.

Наиболее рельефно особенности импульсного схлопывания оболочек с полостью, заполненной водой, проявляются при $l \geq 2R_0$ [1]. Так, в опытах 1 и 2, когда полость оболочек заполнена воздухом и водой соответственно, стенкам оболочек сообщалась сравнительно небольшая кинетическая энергия. Оболочка с воздухом остановилась, испытыв относительную деформацию $\varepsilon_* = 39\%$ (рис. 2, 1). При той же толщине заряда ВВ для оболочки с водой $\varepsilon_* = 8\%$ (рис. 2, 2). При этом на наружной поверхности стенки последней оболочки появились вздутия центральной части участка оболочки, нагружаемого продуктами взрыва, и более заметное вздутие участков оболочки, примыкающих к нему вне зоны расположения заряда ВВ. В опытах 3 и 4 стенкам оболочек сообщали большую кинетическую энергию за счет уменьшения толщины их стенок и увеличения толщины заряда ВВ. При этом произошла фокусировка оболочки с воздухом и последующий разлет ее стенок (рис. 2, 3). Для оболочки с полостью, заполненной водой, отмеченные ранее особенности проявились еще сильнее, что привело к ее разрушению (рис. 2, 4). Эти особенности связаны с влиянием волны сжатия в воде, интенсивность которой после отражения от центра увеличивается. Меньшая степень ее влияния на участок оболочки, расположенный под зарядом ВВ, связана, по видимому, с действием продуктов взрыва.

Из анализа полученной качественной картины процесса следует, что для уменьшения степени проявления этих особенностей необходимо минимизировать ширину заряда ВВ и ввести прокладку между зарядом ВВ и стенкой оболочки. Это может уменьшить интенсивность волны сжатия в воде, действующей на стенки оболочки. Однако, как показано в [1], существует сильная зависимость средней деформации оболочки ε_* от величины относительной ширины заряда ВВ $l/2R_0$. Согласно этой зависимости, на-

№ оп.	Оболочка			Заряд ВВ		Прокладка		Экран		ε_* , %	Среда
	R_0 , мм	a , мм	δ , %	l , мм	h_2 , мм	Материал	h_1 , мм	Материал	h_3 , мм		
1	26,0	5,0	19,2	50	4,2	-	-	-	-	39	Воздух
2	26,0	5,0	19,2	50	4,2	-	-	-	-	8	Вода
3	23,5	3,7	15,7	50	6,3	-	-	-	-	Разлет	Воздух
4	23,5	3,7	15,7	50	6,3	-	-	-	-	Разрушение	Вода
5	29,0	5,0	17,2	15	15,0	Воздух	3,0	Сталь	4	66	Воздух
6	29,0	5,0	17,2	15	15,0	»	3,0	»	4	28	Вода
7	33,0	2,0	6,1	15	3,0	Полиэтилен	4,0	Полиэтилен	4	77	Воздух
8	36,0	2,0	5,6	15	3,0	»	4,0	»	4	19	Вода
9	29,0	5,0	17,2	15	16,5	Воздух	1,5	Сталь	10	Разрыв	»
10	36,0	2,0	5,6	20	20,0	Сталь	4,0	»	11	»	»

чина с $l/2R_0 < 0,3$, эффективность работы заряда ВВ резко уменьшается, и оболочка слабо деформируется.

С учетом этого замечания в последующих опытах ширину заряда ВВ уменьшили до $\sim 0,5R_0$ и использовали различные прокладки. Результаты опытов как с относительно толстыми ($\delta > 10\%$), так и с относительно тонкими ($\delta < 10\%$) оболочками показали, что если оболочки, полость которых заполнена воздухом, схлопываются, обеспечивая практически полное перекрытие проходного канала (рис. 2, 5, 6), то оболочки с водой не схлопываются, и наблюдается вздутие участков оболочки, примыкающих к месту расположения заряда ВВ (рис. 2, 6, 8). Можно отметить, что если относительно тонкие оболочки с полостью, заполненной воздухом, теряют устойчивость и деформированный участок оболочки имеет гофрированную форму (рис. 2, 7), то аналогичные оболочки с водой устойчивости не теряют (рис. 2, 8). Попытка увеличения начальной кинетической энергии у стенок оболочек, заполненных водой, путем увеличения толщины заряда ВВ или его экранирования приводит к разрыву оболочек осевыми напряжениями (рис. 2, 9, 10).

Таким образом, установлено, что при традиционной схеме взрывного нагружения процесс импульсного схлопывания стальных цилиндрических оболочек с полостью, заполненной более плотной чем воздух средой, например водой, имеет особенности, связанные с существованием волн сжатия в этой среде, которые препятствуют схлопыванию стенок с полным перекрытием проходного канала оболочки. Для решения задачи по быстрому перекрытию трубопроводов с жидкостью необходим поиск других технических решений. Важно при этом учитывать выявленные выше закономерности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов А. Г., Минсеев В. Н., Тюнькин Е. С. Импульсное схлопывание стальных цилиндрических оболочек // Изв. АН СССР. Механика твердого тела. 1982. № 2. С. 183–187.
2. Иванов А. Г., Огородников В. А., Тюнькин Е. С. Поведение оболочек под действием импульсной нагрузки. Малые возмущения // Журн. прикл. механики и техн. физики. 1992. № 6. С. 112–115.

*Поступила в редакцию 5/V 1994 г.,
в окончательном варианте — 5/VII 1994 г.*