

*И. В. Белинский, Е. И. Жарков, Н. А. Звонарев, В. Н. Кобасов,
В. А. Ковтуненко, И. М. Минайлюк, С. В. Сериков,
В. Н. Смирнягин, В. В. Тихоненко*

ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СФЕРИЧЕСКИХ СОСУДОВ ПО ДАННЫМ ДИНАМИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ

Представлены методика и результаты экспериментальных исследований по взрывному нагружению четырехслойных металлических сферических сосудов. Опыты показали эксплуатационную надежность сосудов давления такого типа при динамических нагрузках в диапазоне давлений до 200 МПа.

Опыты по малоцикловым гидроиспытаниям монолитных стальных сфер с внутренним диаметром 270 и толщиной стенки до 16 мм, охлажденных до 210 К, показали их интенсивное разрушение до разделения на 8—12 осколков [1]. При температуре испытания 293 К аналогичные сферические сосуды высокого давления (СВД) разрушались до трех осколков. Замена монолитной (однослойной) конструкции СВД на многослойную (в частности, четырехслойную) позволила устранить осколкообразование при испытании СВД без охлаждения, но проблема сокращения количества осколков осталась и для многослойного сосуда при понижении температуры испытания до 210 К [2].

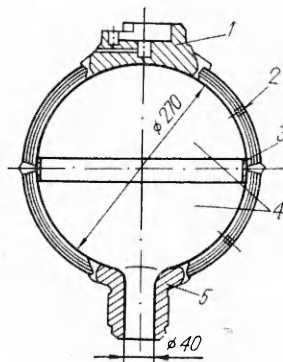
Весь комплекс гидроиспытаний многослойных сферических СВД [1, 2] определенного конструкторского исполнения в диапазоне разрушающего давления от 70 до 190 МПа оставил вопрос о возможности применения СВД такого типа в случае внутренних динамических нагрузок, когда рабочей средой является газ (воздух). С этой целью при динамических испытаниях четырехслойных сферических СВД использованы продукты детонации при инициировании заряда взрывчатого вещества (ВВ) внутри сосуда, по аналогии с работами [3—5].

Преыдущие гидроиспытания сферических СВД до разрушения [1, 2], изготовленные из различных марок сталей (12Х2Н4А, 10ХСНД, 12ХГНМФ, 09Г2С, 09Г2СФ, 09Г2), выявили предпочтительность материалов 12ХГНМФ и 09Г2 для поставленной цели. В дальнейших динамических испытаниях использовались четырехслойные сферические СВД, конструкторское исполнение которых показано на рис. 1.

Два сосуда изготовлены из стали 09Г2 (1, 2) и два из стали 12ХГНМФ (3, 4). Во всех случаях полусферы получали горячей вытяжкой четырехслойного пакета, затем их сваривали по экватору СВД. Качество сварного соединения контролировали на рентгеновской установке. Сосуды 1 и 3 после изготовления подвергались закалке (1130 К), отпуску (740 К) и охлаждению в воде, 2 и 4 — высокому отпуску (970 К) с охлаждением на воздухе.

Рис. 1. Общий вид экспериментальной модели ресивера:

1 — заправочное устройство; 2 — дренажное отверстие; 3 — подкладное кольцо; 4 — полусферический многослойный элемент; 5 — горловина.



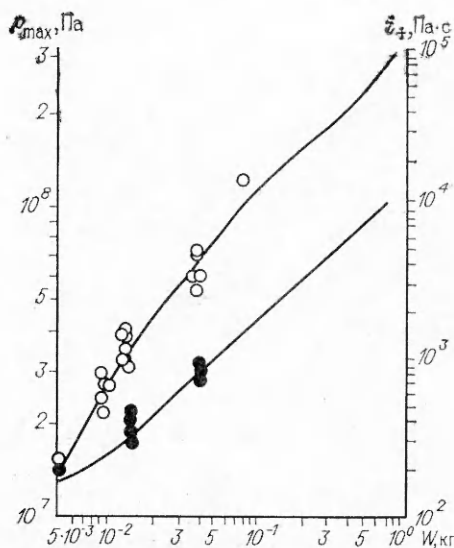


Рис. 2. Зависимость давления (светлые точки) и импульса первой фазы волны (темные) в волне, отраженной от внутренней поверхности СВД, от массы заряда гексогена. Кривые — данные [3].

Динамическое нагружение четырехслойных сферических СВД осуществлялось инициированием зарядов ВВ различных масс из тэна и гексогена, которые подвешивались в центре сосуда вместе с электродетонатором. Горловина СВД завинчивалась металлической пробкой с отверстием по оси диаметром 4 мм для контактных проводов. Давление на внутренней поверхности сосуда после инициирования ВВ измерялось пьезоэлектрическими датчиками давления. Визуальная информация с магнитографа поступала после взрыва через цифровые осциллографы или непосредственно от них. При последовательном увеличении массы заряда определены зависимости давления от времени и приведенного расстояния. По мере роста массы заряда ВВ, подрываемого в центре СВД, увеличивается амплитуда давления и импульс первой фазы ударной волны, отраженной от внутренней поверхности, как показано на рис. 2.

В качестве критерия разрушения принимается нарушение целостности технологических частей, возникновение трещины в стенке, либо разрушение сосуда на части. Критическое давление разрушения определяется по среднему значению двух ближайших масс зарядов, при которых СВД не разрушился и разрушился. Герметичность сосуда после взрыва зарядов ВВ, соответствующих максимальным значениям давления, и при отсутствии видимых трещин на наружной поверхности контролировалась помещением его в ванну с водой и подачей воздуха в СВД.

Одним из важных параметров, дающих информацию о необратимой пластической деформации сосуда при взрыве, служит остаточное изменение размеров сосуда после взрыва. В таблице приведены данные приращения диаметров сосудов, измеренные для четырех диаметральных направлений после каждого взрыва. Точки 1—1', 2—2' соответствуют измерениям в экваториальном сечении СВД (при этом угол между ними составляет 90°), а 3—3', 4—4' — в меридиональном.

При динамическом нагружении СВД с давлением на внутренней стенке $p_{дин}$, равном расчетному гидравлическому разрушающему давлению $p_{ст}$, отмечено только изменение размеров сосуда без потери геомет-

Характер приращения диаметра при внутреннем импульсном нагружении сферических сосудов

W, кг	$p_{дин}$, МПа	Остаточные приращения диаметра СВД (мм) в сечениях				W, кг	$p_{дин}$, МПа	Остаточные приращения диаметра СВД (мм) в сечениях			
		1—1'	2—2'	3—3'	4—4'			1—1'	2—2'	3—3'	4—4'
<i>Сосуд 4</i>											
0,015	34	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	28	0,01	0,00	0,00	0,00
0,040	64	0,05	0,02	0,10	0,01	0,02	40	0,16	0,00	0,03	0,15
0,040	64	0,06	0,02	0,12	-0,01	0,11	111	0,44	0,2	0,4	0,15
0,06	80	0,03	0,03	0,20	0,20	0,15	130	0,01	1,6	0,3	0,00
0,08	95	0,3	0,28	0,04	0,09	0,2	147	0,15	-0,02	0,25	1,23
0,10	106	0,8	0,01	0,06	-0,06	0,3	176	0,52	1,62	0,35	0,12
0,490	225	1,4	1,4	3,4	2,32						
0,600	259	Разрушение									
<i>Сосуд 2</i>											

ричности. При увеличении массы заряда ВВ отмечено, что сосуд 4 разрушился с образованием осколков при нагружении взрывом с $p_{дин} = 259$ МПа (расчетное разрушающее давление $p_{ст} = 212$ МПа); у сосуда 3 при нагружении взрывом ($p_{дин} = 228$ МПа) разрушились внутренний слой (длина трещины в среднем 18 мм) и резьбовое соединение горловины с пробкой ($p_{ст} = 175$ МПа). У сосуда 1 при нагружении ($p_{дин} = 235$ МПа) разрушился внутренний слой, образовалась трещина протяженностью 40 мм и разрушилось резьбовое соединение горловины с пробкой ($p_{ст} = 100$ МПа). Сосуд 2 был подвергнут нагружению взрывом до $p_{дин} = 176$ МПа ($p_{ст} = 110$ МПа). Визуальное микроисследование поверхностей сосуда, а также проверка на герметичность не выявили очагов разрушения.

Из анализа выполненного комплекса работ, включающего выбор конструкции СВД, изготовление и испытание внутренним взрывным нагружением при положительной температуре, следует:

1) предложенная конструкция и технология изготовления обеспечивают высокую конструктивную прочность по условиям динамических испытаний. Принимая во внимание одно из основных нормативных требований к сосуду такого типа (для применения в механизме натяжения и сдавания трактора Т-800 [2], где максимальное рабочее давление в режиме эксплуатации не превышает 30 МПа), можно заключить, что предложенная конструкция СВД имеет в среднем шестикратный запас прочности;

2) четырехслойный сферический сосуд, выполненный из сталей 09Г2 и 12ХГНМФ, обладает высокой сопротивляемостью хрупкому разрушению в условиях динамического нагружения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сериков С. В., Пашков Ю. И. и др. Механика разрушения многослойных и армированных сосудов давления сферического типа при пониженной температуре испытания // Проблемы прочности.— 1990.— № 1.— С. 29—33.
2. Махутов П. А., Сериков С. В. и др. Количественное сопоставление характера разрушения сферических оболочек давления при пониженной температуре испытания // Проблемы машиностроения и автоматизации.— 1991.— № 1.— С. 64—73.
3. Взрывные явления. Оценка и последствия. Пер. с англ./Бейкер и др. Под ред. Я. Б. Зельдовича, Б. Е. Гельфанда.— М.: Мир, 1986.— Кн. 1.
4. Александров А. П., Иванов А. Г. и др. Исследование пластического деформирования стальных сферических оболочек при внутреннем взрывном нагружении // ПМТФ.— 1982.— № 6.— С. 103—108.
5. Иванов А. Г., Учаев А. А. и др. Импульсное разрушение геометрически подобных объектов // Докл. АН СССР.— 1981.— 261, № 4.— С. 868—873.

г. Днепропетровск

Поступила в редакцию 27/VIII 1991,
после доработки — 17/II 1991

УДК 666.233 : 534.222

Н. В. Козырев, Е. С. Голубева

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ АЛМАЗОВ ИЗ СМЕСЕЙ ТРОТИЛА С ГЕКСОГЕНОМ, ОКТОГЕНОМ И ТЭНОМ

Экспериментально исследованы зависимости выхода конденсированного углерода, ультрадисперсного алмаза (УДА) и доли УДА в углероде от состава литых смесей тротила с гексогеном, октогеном и тэном при детонации во взрывной камере. Изучены смеси с содержанием ТНТ от 90 до 35 %. Показано, что выход конденсированного углерода линейно падает с уменьшением количества тротила в смеси; доля алмазной фазы в углероде при этом монотонно возрастает (для смесей с тэном) либо выходит на стационар (для смесей с гексогеном, октогеном). Зависимость выхода УДА от состава ВВ носит экстремальный характер: максимум выхода достигается при содержании тротила 60—70 %.