

ВЛИЯНИЕ ПРОБНОГО ДАВЛЕНИЯ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ КОМПОЗИТНЫХ БАЛЛОНОВ

Постановка проблемы. Опыт эксплуатации стальных баллонов высокого давления показал, что нормативные требования проводить их поверочные испытания при периодическом освидетельствовании каждые пять лет полуторным давлением от рабочего приводят к потере остаточной прочности.

Так, освидетельствование стальных баллонов объемом семь литров на рабочее давление 29,4 МПа производства НПО «Сплав» (г. Тула) после испытания поверочным давлением 44,1 МПа показало, что в процессе дальнейшей эксплуатации они стали разрушаться при давлении 20 МПа.

Анализ последних достижений и публикаций. История этой проблемы заключается в том, что до 1994 года «Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением», требовали испытания баллонов полуторным давлением и, вероятно, для этого было обоснование, так как баллоны изготавливались из невысокопрочной стали, которая была не чувствительна к концентраторам напряжений. В дальнейшем стремление к снижению массы баллонов привело к использованию высокопрочных закаленных сталей, чувствительных к концентраторам напряжений и циклическим нагрузкам [1], а требования к испытаниям остались прежние. Кроме того были разработаны, запущены в производство и эксплуатацию легкие металлокомпозитные и композитные баллоны. В целях определения допустимых испытательных давлений проведена представленная ниже работа.

Согласно [2] гидравлическое пробное испытание баллонов должно проводиться давлением, определяемым выражением

$$P_{пр} = K P_{раб} \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t},$$

где K – коэффициент, зависящий от ударной вязкости композитного материала. Если ударная вязкость больше 20 Дж/см², то $K = 1,3$, если меньше 20 Дж/см², то $K = 1,6$; $P_{раб}$ – рабочее давление баллона, МПа; $[\sigma]_{20}$, $[\sigma]_t$ – допускаемые напряжения для материала баллона соответственно при 20 °С и температуре эксплуатации баллона.

Цель статьи. Данная публикация имеет целью определить влияние пробного давления на несущую способность композитных баллонов и определить его допускаемый уровень.

Материалы и результаты исследований. Для определения ударной вязкости были изготовлены однонаправленные образцы «мок-

рым» способом по технологии и на оборудовании для изготовления композитных баллонов. Образцы (рис. 1) были испытаны на копре маятниковом БКМ-5. В результате проведенных испытаний было получено значение ударной вязкости 31 Дж/см^2 для органопластика (жгут ЖСВМ-58,8(300)x17-1000) на связующем ЭДТ-10.



Рисунок 1 – Образцы из органопластика после проведения испытаний на ударную вязкость

Учитывая, что прочность материалов в температурном диапазоне эксплуатации баллонов существенно не меняется, то соотношение $[\sigma]_{20}/[\sigma]_t$ принимаем за единицу. Тогда пробное давление для баллона должно быть $1,3 P_{раб}$.

Для подтверждения приведенного выше были изготовлены восемь композитных баллонов объемом семь литров с пластиковым лейнером из Luroten 4261 на рабочее давление 29,4 МПа, армированные спирально-окружной многозонной намоткой.

Испытания проводились по программе:

- два образца баллонов № 1 и № 2 были разрушены внутренним гидравлическим давлением без циклического нагружения;
- два образца баллонов № 3 и № 4 испытывались на циклическую долговечность – 5000 циклов нагружением от 1,0 до 29,4 МПа, причем через каждые 500 циклов баллоны нагружались давлением $1,5 P_{раб}$ (44,1 МПа);
- два образца баллонов № 5 и № 6 испытывались на циклическую долговечность – 5000 циклов нагружением от 1,0 до 29,4 МПа, причем через каждые 500 циклов баллоны нагружались давлением $1,3 P_{раб}$ (38,2 МПа);
- два образца баллонов № 7 и № 8 испытывались на цикличе-

скую долговечность – 5000 циклов нагружением от 1,0 до 29,4 МПа без нагружения через 500 циклов.

Обоснованием испытания баллонов в объеме 5000 циклов может быть следующее: баллоны для дыхательной аппаратуры пожарных и баллоны для летательных аппаратов должны иметь ресурс не менее 5000 заправок по требованиям источников [3, 4].

Баллоны после циклических испытаний были разрушены внутренним гидравлическим давлением (рис. 2). Результаты испытаний приведены в таблице.



Рисунок 2 – Характер безосколочного разрушения баллона

В результате анализа полученных значений было установлено, что испытания баллонов на циклическую долговечность без нагружения пробным давлением, а также с нагружением пробным давлением, равным $1,3 P_{раб}$, на несущую способность композитного материала существенного влияния не оказывают (снижение прочности составляет 1,1...2,6 %). Испытание же баллонов на циклическую долговечность с нагружением пробным давлением, равным $1,5 P_{раб}$, снижает прочность конструкции на 15,6...16,7 %. То есть баллоны, спроектированные на статическую прочность с коэффициентом безопасности 2,86...3,00, после испытаний пробным давлением равным, $1,5 P_{раб}$, имеют коэффициент безопасности, меньший нормативного, равного 2,6, установленного «Правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением».

Измерение относительных деформаций тензометрическими датчиками в осевом и окружном направлениях показало, что в баллонах под

нагрузкой поверочного давления, равного $1,3 P_{раб}$, через 10 минут прекращается увеличение деформации.

Таблица – Результаты испытаний баллонов БК-7-300

Номер баллона	1	2	3	4	5	6	7	8
Вид испытаний	Без циклического нагружения		5000 циклов нагружений от 1,0 до 29,4 МПа					
Пробное давление, МПа	0		1,5 $P_{раб}$ через каждые 500 циклов		1,3 $P_{раб}$ через каждые 500 циклов		0	
Разрушающее давление, МПа	900	890	750	740	890	880	890	890
Коэффициент безопасности	3,00	2,97	2,50	2,47	2,90	2,93	2,96	2,96
Потеря прочности, %	-	-	16,7	16,7	1,1	1,1	0,6	0,6

Вывод. На основании проведенных исследований можно сделать рекомендации, что пробное давление в баллонах не должно превышать $1,3 P_{раб}$ и испытания необходимо проводить в течение 10 минут.

Список использованных источников

1. Серенсен С.В. Несущая способность и расчёт деталей машин на прочность: руководство и справ. пособие / С.В. Серенсен, В.П. Когаев, Р.М. Шнейдерович; под ред. С.В. Серенсена. – М.: Машиностроение, 1975. – 500 с.
2. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением, ДНАОП 0.00-1.07-94. – К.: 1998. – 184 с.
3. Техника пожарная. Баллоны для дыхательных аппаратов со сжатым воздухом для пожарных. Общие технические требования. Методы испытаний. Нормы пожарной безопасности. НПБ 190-2000, ГУГПС МВД России. – 25 с.
4. Баллоны для летательных аппаратов. Технические условия АПС-6601-00 ТУ. – Томилино: НПО «Звезда». – 1976.

Поступила в редакцию 10.06.2011.

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.В. Малков,
Восточноукраинский национальный университет
им. Владимира Даля, Луганск*