

РАЗРАБОТКА КОМПОЗИТНЫХ БАЛЛОНОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ($P_{РАБ} = 30$ МПа) С ПОЛИМЕРНЫМ ЛЕЙНЕРОМ

Снижение массы баллонов для воздушно-дыхательных аппаратов является актуальной задачей для производительной работы бойцов МЧС, ВГСЧ и других формирований, работающих в непригодной для дыхания среде. Снижение массы баллонов и повышение их долговечности и надежности также актуально при использовании их в летательных аппаратах и в наземных транспортных средствах, работающих на газообразном топливе.

Использование металлокомпозитных баллонов, хотя и решает проблему снижения массы, тем не менее выдвигает очень жесткие требования к содержанию влаги в воздухе, которым заправлен баллон. Наличие повышенного содержания влаги и углекислого газа может приводить к коррозионным поражениям лейнера вплоть до потери им герметичности.

Среди производителей стальных и металлокомпозитных баллонов проводятся работы по нанесению покрытия на внутреннюю поверхность баллона. Однако в этом случае сталкиваются с такими проблемами:

- выделение из покрытия продуктов его деструкции, сопровождающейся резким запахом, о влиянии на человеческий организм такого воздуха (при вдыхании) еще нет однозначного мнения;
- нет надежного способа контроля целостности покрытия как после его нанесения, так и при техническом освидетельствовании баллонов;
- влага, проникшая через поры покрытия на поверхность металлического лейнера, образует продукты коррозии, под покрытием коррозия идет по щелевому типу со скоростью, на порядок превышающую скорость атмосферной коррозии;
- отслоившееся покрытие, попадая из баллона в питательную систему, приводит к выходу ее из строя или возможной гибели человека, если баллон используется в дыхательном аппарате.

Опыт освидетельствования баллонов в ЗАО НПП «Маштест», г. Королев, Московской области и ОАО «Горизонт» г. Луганск показывает, что в отдельных партиях стальных баллонов с внутренним покрытием после семи лет эксплуатации до 30 % их пришли в негодность в результате коррозии.

Производство в течение 15 лет на ОАО «Завод горноспасательной техники «Горизонт» (г. Луганск) металлопластиковых баллонов для дыхательных аппаратов, работающих на сжатом воздухе с лейнером из нержавеющей стали 12Х18Н10Т толщиной 1,5 мм, показало, что за 10 лет эксплуатации до 10% баллонов потеряли герметичность. Иссле-

дование показало, что межкристаллитная коррозия происходит не только в зонах сварочных швов, но и в сплошном материале. При сертификации зарубежных баллонов с алюминиевым лейнером в лаборатории ОАО «Горизонт» были обнаружены коррозионные пятна из-за некачественного электрохимического покрытия и невозможности контролировать его толщину внутри баллона. Кроме низкой коррозионной стойкости, выпускаемые металлопластиковые баллоны имеют ограниченный срок эксплуатации из-за усталости металлического лейнера при циклических нагрузках, приводящих к потере герметичности конструкции. Для увеличения ресурса необходимо укладывать армирующего материала больше, чем требуется из условия прочности, что приводит к снижению массового совершенства баллонов.

В настоящее время перспективным является изготовление композитных баллонов с пластиковым лейнером, аморфный материал которого не подвержен усталости в диапазоне относительных деформаций, возникающих при эксплуатации баллонов. Кроме того, пластиковый лейнер существенно снижает общую массу баллона и стоимость его изготовления по сравнению с металлическим.

Для устранения коррозионных последствий, снижения массы и стоимости была разработана конструкция баллона с пластиковым лейнером, оснастка и технология производства лейнера и композитного баллона в целом.

На ОАО «Горизонт» разработана конструкция баллонов объемом 4,5 и 7,3 литров, на рабочее давление 20,4 и 29,4 МПа.

Укладка армирующего материала осуществлялась по схеме «конт» с многозонной укладкой спиральных слоев. Расчет значений толщины армирующего материала в многозонных слоях баллона выполнялся в деформационной постановке [1], т.е. просчитывались относительные деформации армирующего материала в направлении армирования каждого слоя и за оптимальный проект принималось равенство деформаций в каждом слое. При этом толщина армирующего материала в слоях корректировалась с учетом возможности «застильной» укладки каждого слоя и выполнения требований безосколочного разрушения баллона [2] и нормируемого коэффициента безопасности [3] (характер разрушения баллонов показан на рис. 1).

Массовое совершенство определялось по выражению

$$\mu = \frac{PV}{M}, \quad (1)$$

где P – разрушающее давление, кгс/см²;
 V – объем баллона, см³;
 M – масса баллона, кг.



Рисунок 1 - Характер разрушения баллонов

Относительные деформации измерялись тензометрическим мостом в осевом и окружном направлениях на цилиндрической части баллона, а по направлениям армирования i -х слоев определялись по выражению

$$\varepsilon_i = \varepsilon_{ос} \cos^2 \phi_i + \varepsilon_{ок} \sin^2 \phi_i, \quad (2)$$

где $\varepsilon_{ос}$, $\varepsilon_{ок}$ – относительные деформации в осевом и окружном направлениях;

ϕ_i – угол армирования i -го слоя.

Проведенные исследования позволили получить конструкцию баллона высокого массового совершенства и стоимости меньше, чем аналогичный металлопластиковый баллон.

Для окончательного подтверждения надежности разработанных баллонов в ЗАО НПП «Маштест» проводилась исследовательская работа на баллонах с внутренним объемом $V = 7,3$ литра с использованием лейнеров из полиэтиленовой группы, предназначенных для воздушно-дыхательных аппаратов. Виды исследованных типов полиэтилена и армирующего материала приведены в табл. 1.

Таблица 1- Параметры исследованных материалов и баллонов

Материал лейнера	Толщина стенки лейнера, мм	Армирующий материал	Масса баллона М, кг	Разрушающее давление (Р), кгс/см ²	Массовое совершенство μ , км
Полиэтилен 273	2,2	стекло-волокно	5,2	790	11,09
Lupolen-5261	2,2	стекло-волокно	5,1	800	11,45
Lupolen-4261	4,0	органоволокно	4,4	≥ 900	$\geq 14,93$

В задачи проводимой работы входило:

- обеспечить требуемую несущую способность баллонов;
- определить проницаемость воздуха через стенку лейнера;
- исследовать выделения органических соединений из материала лейнеров в процессе хранения баллона, заправленного воздухом.

Как видно из табл. 1, прочность баллонов реализуется при удовлетворительной их массе.

Испытание заправленных баллонов на газопроницаемость показало:

- баллон с лейнером из Lupolen-5261 толщиной стенки 2,2 мм потерял герметичность через 45 суток выдержки при рабочем давлении (30 МПа). Разгерметизация произошла по следу от разъема пресс-формы (не качественно изготовлена пресс-форма, утонение лейнера в этом месте до 1,3 мм).

- баллон с лейнером из Lupolen-4261 толщиной стенки 4 мм, в заправленном на рабочее давление (30 МПа) при наблюдении в течение 135 суток потерял в весе 30 гр.

Исследование гигиенических характеристик баллонов показало следующее. После выдержки в течение 30 суток при температуре 20 °С при рабочем давлении 30 МПа воздуха по составу, соответствующего требованиям источника [2], в воздушной среде баллонов были обнаружены органические вещества, относящиеся к классу алифатических спиртов.

Из литературных данных известно, что эти вещества могут являться продуктами деструкции полиэтиленов. Результаты исследования представлены в табл. 2.

Как видно из этой таблицы, концентрация выделившихся органических веществ из лейнера, изготовленного из Lupolen-4261, не превышает ПДК среднесуточное и ПДК рабочей зоны.

Выдержка в течение 4-х часов при температуре 60 °С заправленного баллона с лейнером из Lupolen 4261 привело к увеличению выделе-

ний примерно в два раза изопропанола, изо-бутанола, бутанола, но при этом их содержание осталось ниже ПДК рабочей зоны.

Таблица 2 - Продукты, выделившиеся из материала лейнеров

Материал лейнера	Содержание мг/м ³			
	изо-пропанол	изобутанол	бутанол	формальдегид
ПДК среднесуточное	0,6	0,1	0,1	0,003
ПДК рабочей зоны	10	10	10	0,5
Lupolen-4261	0,03	0,02	0,10	не обнаружен
Lupolen-5261	0,10-0,13	0,10-0,12	не обнаружен	не обнаружен

Следует отметить, что при испытании лейнера из Lupolen-5261 дополнительно обнаружено выделение 4-метил-2пентанол в количестве 0,15...0,20 мг/м³, превышающем среднесуточную ПДК в 2-3 раза.

Таким образом, разработка композитных баллонов высокого давления до 30 МПа с использованием лейнера из Lupolen-4261 толщиной 4 мм является весьма перспективной с точки зрения всех поставленных в исследовании направлений: прочности, проницаемости и гигиены.

Список использованных источников

1. Vladimir Ivanovskiy, Designing of metal-base composite vessels of high pressure on the set service life (Проектирование металлокомпозитных баллонов высокого давления на заданный ресурс). TeKa Commission of motorization and power industry in agriculture Lublin University of Technology, Polish Academy of Sciences Branch in Lublin. Volodimir Dal East-Ukrainian National University of Lugansk, Lublin 2010, p. 211-217

2. 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.

3. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением, ДНАОП 0.00-1.07-94. К.: 1998. – 184 с.

Поступила в редакцию 09.03.2011.

Рецензент: канд. техн. наук, ст. преп. А.В. Кондратьев, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков