

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПОЗИТНОГО БАЛЛОНА С ПЛАСТИКОВЫМ ЛЕЙНЕРОМ

Масса металлопластиковых баллонов высокого давления (30 МПа) в 2,0 – 2,5 раза меньше, чем стальных. Кроме того, безосколочное разрушение при попадании быстролетающих тел (более 800 м/с) позволяет широко использовать их в системах функционирования и жизнеобеспечения всех типов авиационной и ракетно-космической техники, в газотопливном оборудовании транспортных средств, для воздушнодыхательных аппаратов, применяемых бойцами МЧС, ВГСЧ и других формирований, работающих в непригодной для дыхания атмосфере (см. рисунок).



Металлокомпозитные баллоны в составе дыхательных аппаратов

Тонкостенный лейнер металлопластикового баллона в настоящее время изготавливается из различных металлов (алюминиевые сплавы, нержавеющие стали, коррозионно-нестойкие стали с антикоррозионным покрытием). Опыт эксплуатации таких баллонов показал, что в материале лейнера из-за циклического нагружения, наличия влаги и углекислого газа происходит межкристаллитная коррозия, что приводит к потере герметичности баллона в целом. Освидетельствование баллонов в ЗАО НПП «Маштест» (г. Королев Московской области) показало, что в отдельных партиях стальные баллоны с внутренним покрытием после семи лет эксплуатации до 30% пришли в негодность по причине коррозии [1]. 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. Исследование показало, что межкристаллитная коррозия происходит не толь-

ко 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.

Для устранения коррозионных последствий, снижения массы и стоимости были разработаны конструкция баллона с пластиковым лейнером, оснастка и технология производства лейнера и композитного баллона в целом. Пластиковый лейнер изготавливали из газонепроницаемой, экологически безопасной пластмассы полиэтиленовой группы Lupolen-4261 [1], а композитную силовую часть баллона - спирально-кольцевой намоткой армирующего материала на эпоксидном связующем горячего отверждения. Баллоны прошли полный цикл испытаний согласно требованиям, изложенным в нормативной документации [2], и были сертифицированы в системе УкрСЕПРО и Российского морского регистра.

Партия таких баллонов в количестве 300 штук в составе воздушно-дыхательных аппаратов эксплуатируется в формированиях МЧС Украины в течение двух лет. Параллельно с эксплуатацией контрольная партия баллонов в количестве 300 штук хранилась в неотопляемом складе завода-изготовителя в течение такого же времени. В процессе хранения баллонов без давления произошла усадка пластикового лейнера как по диаметру, так и длине относительно «неподвижной» композитной части. Анализ этого события показал, что усадка лейнера имеет интегральный характер, т.е. она складывается из температурной усадки и усадки «старения». Так, намотка армирующего материала и полимеризация связующего происходят при температуре 120⁰С (температура начала размягчения материала лейнера) при избыточном давлении в лейнере 0,8 МПа, а эксплуатация и хранение баллонов могут происходить при температуре -30⁰С. А если баллон хранится без давления, то лейнер усаживается на величину, зависящую от разницы температур и коэффициента линейного термического расширения (КЛТР). Так, лейнер семи-литрового баллона при диаметре 142 мм, длине 600 мм и КЛТР для Lupolen-4261, равном $2 \times 10^{-4} \frac{1}{град}$, может уменьшиться в диаметре на 4,2 мм, а по длине - на 18 мм.

В дальнейшем при нагружении баллона внутренним давлением лейнер сначала увеличивается в диаметре (окружные деформации изотропного цилиндра в четыре раза больше, чем осевые [3]), соприкасаясь с композитной частью баллона, а с увеличением давления он деформируется в осевом направлении. Так как цилиндрическая часть лейнера прижата к композитной части баллона и силы трения не позволяют скользить лейнеру относительно композита, то осевая деформация происходит на участке перехода цилиндра в днище. Лейнер при этом утоняется

и может разрушиться, что приведет к потере герметичности баллона.

Через год хранения баллонов на складе произошла усадка лейнера по длине со стороны глухого днища на 14 мм (так как со стороны штуцера лейнер заблокирован и перемещаться не может). При нагружении внутренним давлением из десяти испытанных баллонов два баллона потеряли герметичность. После препарации баллонов был обнаружен отрыв днища лейнера от цилиндра, на оставшихся восьми произошло утонение стенки лейнера без потери герметичности. Экспериментальные работы проводились при температуре окружающей среды 20°C.

В процессе эксплуатации баллонов в составе дыхательных аппаратов потери герметичности не наблюдалось, так как аппараты находятся в боевом дежурстве с воздухом при рабочем давлении.

Вывод

Для устранения усадки полимерного лейнера могут быть предложены следующие варианты:

- баллоны после изготовления необходимо хранить под давлением, создающим напряжение в стенке лейнера по осевому направлению равному пределу текучести материала;
- конструктивным решением заблокировать перемещение лейнера в процессе усадки;
- для изготовления лейнера использовать безусадочный материал;
- при эксплуатации не допускать снижения внутреннего давления ниже нормативного, указанного в технической документации на конкретный тип баллонов.

Список использованных источников

1. Осадчий Я.Г. Разработка композитных баллонов высокого давления ($P_{\text{раб}}=30$ МПа) для дыхательных аппаратов / Я.Г. Осадчий, Ю.И. Русинович, В.С. Ивановский // Композиционные материалы в промышленности: тез. докл. 27 междунар. науч.-практ. конф. 1-5 июня 2007 г. – Ялта, 2007. – С. 215-216.
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. Писаренко Г.С. Справочник по сопротивлению материалов / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев; отв. ред. Г.С. Писаренко. – 2-е изд. – К.: Наук. думка, 1988. – 736 с.

Поступила в редакцию 03.09.09.

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Е. Гайдачук,
Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков*