

УДК 678.027.7:677

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЛЩИНЫ НАМОТКИ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ БАЛЛОНОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Перевозчиков В.А., аспирант
Научный руководитель: Сыровой Г.В., к.т.н., доцент
Луганский государственный университет
имени Владимира Даля
г. Луганск

Согласно политике импортозамещения отечественные металлокомпозитные баллоны высокого давления становятся основным комплектующим изделием для приборов, используемых в летательных аппаратах и транспортных средствах [1].

Так же металлокомпозитные баллоны малого объема все больше находят применение в дыхательных системах средств спасения и медицинской техники из-за своих массово-технических характеристик [2].

Основным условием эксплуатации таких металлокомпозитных баллонов высокого давления остается их безопасность и параметр массовой эффективности. Поэтому снижение массы металлокомпозитного баллона и увеличение его ресурса для использования воздушной смеси остается актуальной задачей [3, 4].

Целью работы является исследование толщины намотки композитного материала на металлокомпозитный баллон и его влияние на массово-технические характеристики с использованием метода МКЭ.

Суть метода конечных элементов заключается в замене созданной твердотельной модели на дискретную математическую модель, отражающую физическую сущность и свойства данной конструкции. Важнейшим элементом этой модели является конечно-элементная дискретизация изделия - построение совокупности элементарных объёмов заданной формы объединённых в конечноэлементную сетку.

Исследование будем проводить на основе системы *APR FEM* интегрированной в КОМПАС-3D и предназначенной для подготовки и последующего конечно-элементного анализа трехмерной твердотельной модели.

Подготовка геометрической 3D-модели и задание материала осуществляется средствами системы КОМПАС-3D. С помощью *APR FEM* задаем материал, прикладываем нагрузки, указываем граничные условия, создаем конечно-элементную сетку и выполняем расчет. При этом процедура генерации конечных элементов проводится автоматически.

Генерацию твердотельной модели производим сеткой из тетраэдральных элементов, так как с помощью тетраэдра можно с очень большой точностью аппроксимировать сколь угодно сложную форму изделия.

Для проведения анализа стенки лейнера МКЭ задавалось внутреннее давление, воспринимаемое лейнером в процессе нагружения от рабочего давления 29,4 МПа.

Закрепление лейнера проводилось по горловине баллона по направлениям X, Y, Z.

Материалом для изготовления лейнера послужила сталь 12X18H10T табл.1.

Таблица 1 Параметры стали 12X18H10T ГОСТ Р 57423-2017

Модуль Юнга (Н/мм ²)	198000
Коэффициент Пуассона	0,3
Плотность, (кг/мм ³)	7,92
Предел прочности при сжатии (Н/мм ²)	515
Предел прочности (временное сопротивление) (Н/мм ²)	515
Предел текучести (Н/мм ²)	209
Предел усталостной прочности (н) (Н/мм ²)	209
Предел усталостной прочности (к) (Н/мм ²)	139

Генерация КЭ сетки была выполнена по схеме 4-х узловых тетраэдров и имела следующие параметры. Максимальная длина стороны элемента составила 5 мм. Минимальная длина стороны элемента равна 0,05 мм. Максимальный коэффициент сгущения на поверхности 1,2. Коэффициент разрежения в объеме равен 1,5. Угловой шаг составил 18 градусов. Размер допуска на слияние – 0,05 мм.

Анализ МКЭ проводим по статическому расчету определяя эквивалентное напряжение по Мизесу и суммарное линейное перемещение модели лейнера с толщиной стенки от 0,7 мм до 2,0 мм (рис.1).

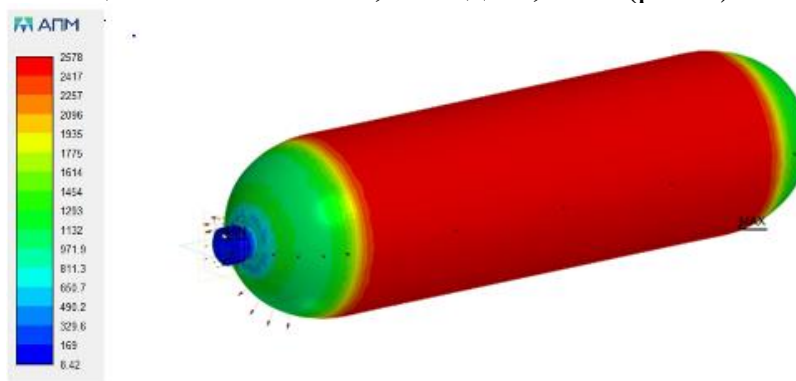


Рисунок 1. Эквивалентное напряжение по Мизесу для лейнера с толщиной стенки 0,7 мм

Теоретические исследования и опыт изготовления металлокомпозитных баллонов показывает, что наилучший весовой эффект достигается при тонком металлическом лейнере и жесткой силовой оболочке из высокомодульного композиционного материала. Существующие технологии изготовления тонкостенных металлических лейнеров, такие как сварка заготовок, полученных методом пластического деформирования листовых заготовок не

дают требуемых результатов по ресурсу. Следовательно, необходимо найти такое сочетание толщины лайнера баллона и количество композитного материала, которое будет соответствовать данным требованиям.

Массу композитного материала определяем по формуле (1):

$$M_{\text{км}} = \pi D h_{\text{сл}} L_{\text{ц}} \gamma_{\text{км}}, \quad (1)$$

где D - диаметр металлокомпозитного баллона;

$h_{\text{сл}}$ - толщина композитного слоя;

$L_{\text{ц}}$ - длина цилиндрической части;

$\gamma_{\text{км}}$ - удельный вес композитного слоя.

Массу связующего для композитного материала определяем по формуле

(2):

$$M_{\text{св}} = \frac{k_{\text{св}} M_{\text{км}} \gamma_{\text{км}}}{\gamma_{\text{км}} (1 - k_{\text{св}})}, \quad (2)$$

где $K_{\text{св}}$ -отношение связующего, равное 0,35;

$M_{\text{км}}$ -масса композитного материала.

Массу лайнера определяем в программе КОМПАС-3D при построении модели с толщинами стенки от 0,7 до 2,0 мм, и далее получаем график (рис.2) зависимости толщины стенки лайнера и композитного материала.

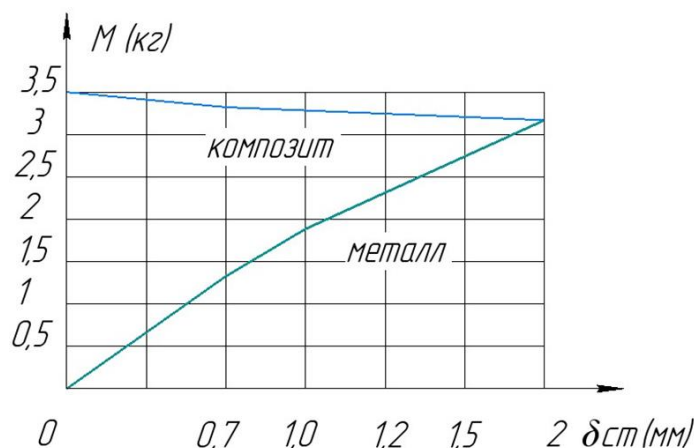


Рисунок 2. Масса композитного слоя и лайнера баллона

Анализируя данные рис. 1 полученные МКЭ видно, что для различной толщины лайнера значения эквивалентных напряжений по Мизесу уменьшаются и эти значения зависят от толщины стенки лайнера баллона. При этом, суммарное линейное перемещение увеличивается, но его можно компенсировать намоткой композитного слоя.

Исходя из графика, полученного на рис.2 можно сказать, что на массово-технические характеристики металлокомпозитного баллона большее влияние оказывает толщина стенки лайнера баллона, чем использование композитного слоя. Значение массы, которого незначительно меняется при изменении

толщины металлического лейнера.

Выводы

1. Моделирование баллона показало возможность исследования толщины металлической стенки лейнера и намотки композитного материала.
2. Количество намотки толщины композитного слоя влияет незначительно, чем изменение толщины стенки лейнера баллона, которое оказывает большее влияние на массовые характеристики.
3. Моделирование баллона с толщиной стенки лейнера 0,7 мм при том же соотношении композитного материала, позволяет снизить массу баллона на 45%.

Список литературы:

1. Бабков Ю. В., Особенности использования водорода на железнодорожном транспорте: выбор агрегатного состояния и способы экипировки локомотива водородом/ Ю.В. Бабков, Д.В. Котяев, Д.И. Прохор, А.Г. Воронков, С.Н. Журавлев// Бюллетень результатов научных исследований. – 2021. – Вып. 2. – С. 107–118. DOI: 10.20295/2223-9987
2. Малков И.В., Высокопрочные баллоны давления из композитных материалов для различных отраслей промышленности /И.В. Малков, Г.В. Сыровой //Энергосбережение и эффективность в технических системах Материалы IV Международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Тамбовский государственный технический университет. 2017.
3. Витренко В. А. Увеличение ресурса эксплуатации металлопластикового баллона на основе наноармирования композитной оболочки. /В.А. Витренко, Г.В. Сыровой В.А. Перевозчиков //Международный сборник научных трудов. Выпуск 2 (73) ' 2021.
4. Сыровой, Г.В. Технологическое обеспечение повышения качества производства малогабаритных корпусов из композиционных материалов: дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. /Г.В. Сыровой. Луганский национальный университет им. Владимира Даля. – Донецк, 2018. – 209 с.