

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИТНОГО БАЛЛОНА С ПОЛИМЕРНЫМ ЛЕЙНЕРОМ

Среди многочисленных функционально важных подсистем летательного аппарата (ЛА) особое место занимают системы его энергообеспечения и жизнеобеспечения, в которых определяющими являются агрегаты, содержащие газообразные или жидкие среды под высоким давлением – баллоны высокого давления (далее – баллон). Широкое применение баллоны находят и в других конверсионных направлениях: в наземных транспортных средствах, работающих на газообразном топливе, в составе воздушно-дыхательных аппаратов. Снижение массы баллонов в системах ЛА, повышение их долговечности и надежности являются актуальными задачами. Снижение массы баллонов для воздушно-дыхательных аппаратов также является актуальной задачей для производительной работы бойцов МЧС, ВГСЧ и других формирований, работающих в непригодной для дыхания среде.

Применение композиционных материалов и современных технологий производства из них изделий является одним из эффективных путей решения этой проблемы.

Комбинированные баллоны представляют собой неразъемные соединения, состоящие из внутренней пустотелой герметизирующей оболочки – лейнера из металла или полимера и внешней силовой оболочки из высокопрочного армирующего материала (АМ) (волокно, нити, жгуты, ленты и пр.), получаемой способом мокрой намотки (материал пропитывается связующим в процессе намотки) на лейнер.

Металлический лейнер изготавливают сваркой цилиндрической обечайки с последующим привариванием к ней штампованных днищ, одно из которых выполнено с горловиной.

Для осуществления процесса намотки армирующего материала (АМ) используют специальные намоточные агрегаты, например на основе модернизированных токарных станков с ЧПУ.

Наибольшее распространение получила спирально-кольцевая намотка [1], при которой лейнер непрерывно вращается, в то время как раскладчик АМ перемещается возвратно-поступательно в продольном и поперечном направлениях. Намотка осуществляется автоматически.

Использование металлического лейнера при изготовлении металлопластикового баллона имеет следующие недостатки:

- при изготовлении металлического лейнера очень низок коэффициент использования металла (отходы при раскрое, подрезке днищ после штамповки и т.д.);
- сложный технологический процесс производства лейнера из

листового материала (раскрой металла, вальцовка цилиндрической части лейнера, штамповка днищ, подрезка, сварка, контроль сварочных швов и т.д.);

- металлический лейнер подвержен коррозии [2];

- масса металлического лейнера существенно сказывается на массе баллона в целом.

В то же время известен способ изготовления легких полых изделий из полимера типа тел вращения (сосуды, бутылки, емкости другой конфигурации).

Для устранения вышеуказанных недостатков были разработаны конструкция и технология производства полимерного лейнера, заключающаяся в следующем: плавление и гомогенизация расплава полимера; формование трубчатой заготовки методом экструзии; размещение заготовки в полости формующей оснастки заданной конфигурации; смыкание формы; раздув заготовки сжатым воздухом через профилирующую головку; охлаждение изделия; раскрытие формы и извлечение изделия [3]. Этот способ позволяет изготавливать лейнеры из полимера для комбинированных баллонов высокого давления [4, 5].

Преимущества полимерного лейнера заключаются в следующем:

- оболочка из полимерного материала не чувствительна к концентраторам напряжений;

- обладает устойчивостью к действию циклического нагружения, что увеличивает ресурс работы баллона;

- стойка к химически агрессивным средам;

- с его использованием существенно снижается масса и стоимость баллона в целом;

- цикл изготовления лейнера длится несколько минут.

Баллон состоит из внешней силовой оболочки из композиционного материала и внутренней герметизирующей оболочки (лейнера) из эластичного полимера в виде колбы, металлической опоры и заправочно-расходного узла.

Применение металла в конструкции баллона сведено к минимуму. Горловина колбы снабжена наружной резьбой, по своей внутренней поверхности и резьбе герметично обжата двумя элементами металлического заправочно-расходного узла, необходимого для эксплуатации баллона: штуцером, навинчиваемым на резьбу, и втулкой-ниппелем (рис. 1).

В случае использования металлического лейнера, являющегося одним целым со штуцером, передача крутящего момента от шпиндельных валов намоточного станка беспрепятственно обеспечивается при намотке кольцевых и спиральных слоев. А пластиковый лейнер имеет свои особенности – технологическую резьбу, на которую навинчивается металлический штуцер.

Спирально-кольцевая укладка АМ композитной оболочки осуществляется намоткой спиральных слоев под углами армирования от 10° до

50° к оси баллона (так называемая зонная укладка) и намоткой кольцевых слоев под углом, близким к 90°.

При намотке АМ на поверхность пластикового лайнера было выявлено следующее: крутящий момент, создаваемый натяжением АМ, через лайнер переходит на штуцер баллона и далее на шпиндель намоточного станка. В цепи передачи крутящего момента слабым звеном оказалось соединение штуцера с горловиной пластикового лайнера.

Крутящий момент от натяжения АМ может быть вычислен по следующей зависимости:

$$M_{кр} = T_{AM} \frac{d_j}{1} \sin \alpha, \quad (1)$$

где T_{AM} – натяжение АМ; d_j – диаметр точки касания АМ к поверхности лайнера; α – угол укладки АМ определяется зависимостью [1]

$$\alpha = \arcsin \frac{d_n}{d_j}, \quad (2)$$

где d_n – диаметр полюса (для баллона – это диаметр вматываемой части штуцера).

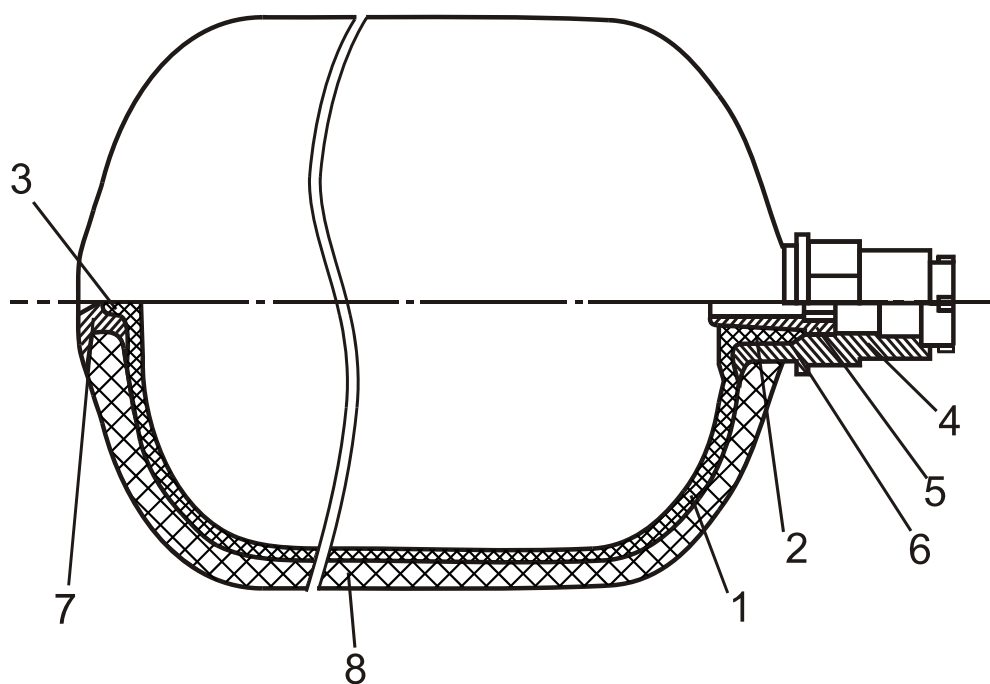


Рисунок 1 – Конструкция композитного баллона с полимерным лайнером: 1 – полимерный лайнер; 2 – горловина лайнера; 3 – выступ для фиксации металлической опоры; 4 – металлический штуцер; 5 – запирающий ниппель; 6 – уплотнительное кольцо; 7 – металлическая опора; 8 – внешняя силовая оболочка из армирующего материала на полимерном связующем

При намотке спиральных слоев крутящий момент, передаваемый через штуцер к лейнеру, в зависимости от угла армирования и диаметра вматываемой шейки штуцера в 6 - 7 раз меньше, чем при намотке кольцевого слоя, но даже при намотке спиральных слоев с углом армирования $\alpha = 10^\circ$ под действием натяжения АМ, когда крутящий момент минимален, металлический штуцер проворачивается относительно лейнера, и намотка становится невозможной.

Для усиления передачи крутящего момента на штуцере в зоне контакта с дном пластикового лейнера была выполнена сетчатая накатка, а направление резьбы на горловине лейнера изготовлено таким, чтобы металлический штуцер навинчивался и прижимался сетчатой накаткой к лейнеру за счет натяжения АМ.

Опыт показал, что сетчатая накатка недостаточна для передачи крутящего момента и при намотке АМ под углом, большим 20° , происходит проворачивание лейнера относительно штуцера.

В целях устранения указанного недостатка изготовлено специальное устройство к намоточному станку, общий вид которого показан на рис. 2. Устройство работает автоматически в привязке к программе укладки АМ.

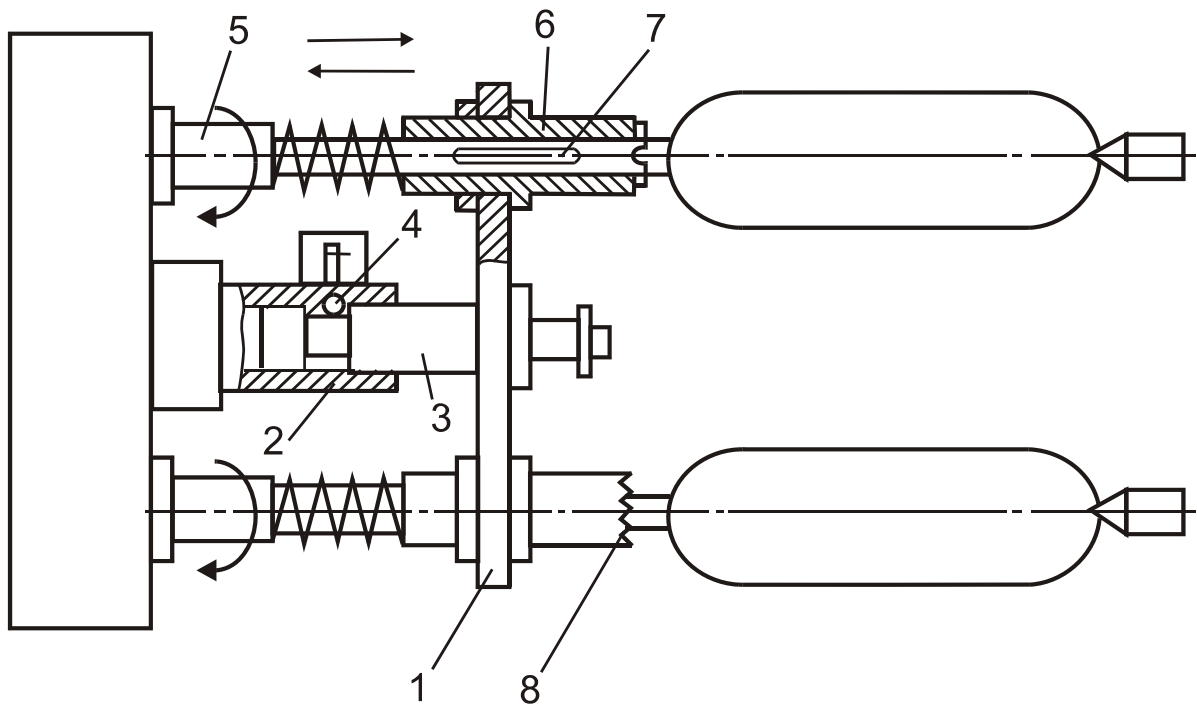


Рисунок 2 – Устройство передачи крутящего момента на лейнер баллона при намотке АМ:

- 1 – вертикальная планка; 2 – направляющий цилиндр; 3 – кольцевая проточка; 4 – фиксирующая чека; 5 – шпиндельный вал;
6 – подпружиненный цилиндр;
7 – шпонка; 8 – гребенка

Устройство состоит из трех узлов, связанных между собой вертикальной планкой 1 электромагнитной системы, состоящей из втягивающего электромагнита и пускового выключателя, установленного на продольной направляющей намоточного станка. Средний узел состоит из направляющего цилиндра 2 и цилиндрического фиксатора с кольцевой проточкой 3, в которую перед началом намотки входит фиксирующая чека 4. Верхний и нижний шпиндельные валы 5 являются передними центрами для фиксации двух баллонов и снабжены подпружиненными цилиндрами 6, связанными с валами шпоночным соединением 7, торцы которых выполнены в виде гребенки 8 с зубцами под углом 90° , поверхность которых отполирована. Чека 4 связана с втягивающим электромагнитом. На суппорте закреплен толкатель для возврата подпружиненных гребенок в исходное перед намоткой положение (рис. 3, 4).

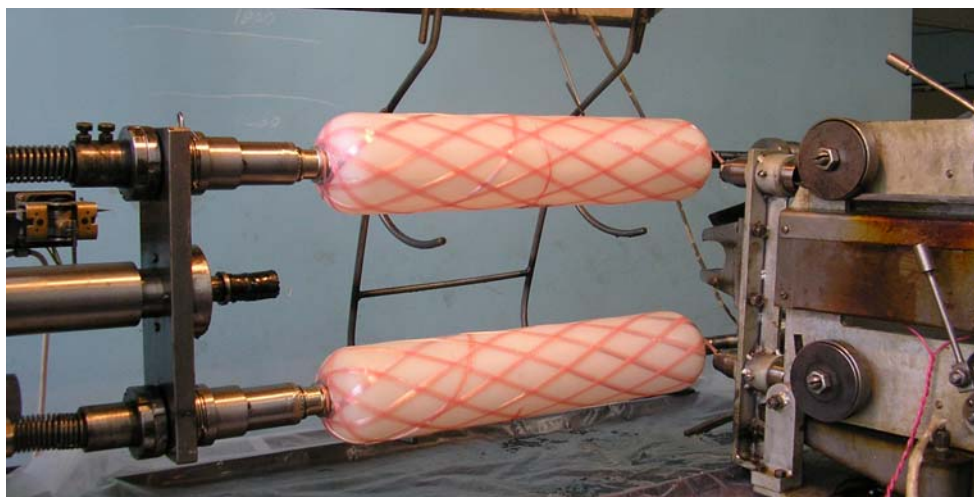


Рисунок 3 – Узел для намотки композитных баллонов с полимерным лайнером (вид спереди)

Устройство работает следующим образом. После намотки первого спирального слоя под минимальным углом укладки АМ, таким, при котором вматывается металлический штуцер баллона, выполняется кадр программы, который перемещает суппорт по продольной оси намоточного станка до положения, в котором концевой выключатель замыкает электромагнитную цепь. В результате происходит срабатывание системы по удалению чеки из проточки фиксатора среднего узла. При этом вертикальная плита под действием пружин перемещается в направлении баллонов, и гребенки внедряются в первый намотанный слой АМ. Далее выполняется намотка остальных спиральных и кольцевых слоев согласно программе.

Перед намоткой очередной пары баллонов при движении суппорта по продольной оси толкатель отводит вертикальную плиту и возвращает гребенки в положение, при котором чека попадает в проточку, обеспечивая их фиксацию.

Предложенное устройство апробировано и используется при серийном производстве баллонов высокого давления на ОАО «Завод горноспасательной техники "Горизонт"», г. Луганск.



Рисунок 4 – Конструкция управляющей части узла, обеспечивающего передачу крутящего момента на полимерный лайнер баллона

Список использованных источников

1. Образцов, И.Ф. Оптимальное армирование оболочек вращения из композиционных материалов. [Текст] / И.Ф. Образцов, В.В. Васильев, В.А. Бунаков. – М.: Машиностроение, 1977. – 144 с.

2. Осадчий, Я.Г. Разработка композитных баллонов высокого давления ($P_{раб} = 30$ МПа) для дыхательных аппаратов / Я.Г. Осадчий, В.С. Ивановский, Ю.И. Русинович // Композиционные материалы в промышленности: доклад 27 междунар. конф. – Ялта, Крым, 2007. – С 215 – 216.

3. Бортников, В.Г. Основы технологии переработки пластических масс. [Текст] / В.Г. Бортников – Л.: Химия, 1983. – 304 с.

4. Ивановский, В.С. Композитный баллон с полимерным лайнером / В.С. Ивановский, Р.В. Смирнов // Композиционные материалы в промышленности: доклад 26 междунар. конф. – Ялта, Крым, 2006. – С 301 – 302.

5. Ивановский, В.С. Особенности проектирования и эксплуатации композитного баллона с пластиковым лайнером. [Текст] / В.С. Ивановский. // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: темат. сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Х., 2009. – Вып. 3(59). – С. 23 – 25.

Поступила в редакцию 3.04.2013.

Рецензент: канд. техн. наук, доц. О.Б. Кивиренко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков.