

УДК 678.019.31

СОЗДАНИЕ КОМПОЗИТНЫХ БАЛЛОНОВ

¹А.Н. Блазнов, д.т.н., доцент, ГНС; ¹Д.Е. Зимин, к.т.н., НС

¹М.Е. Журковский аспирант, МНС

²И.С. Хабазин, аспирант; ²З.Г. Сакошев, студент

¹Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), г. Бийск

²Бийский технологический институт (филиал) «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», г. Бийск

При рассмотрении баллонов для хранения, транспортировки жидкостей и газов, в особенности сосудов высокого давления, выделяют четыре типа по ГОСТ Р 517530 2001 [1, 2]: 1 – стальные бесшовные, 2 – состоящие из металлического лайнера и оболочки из композиционного материала на цилиндрической поверхности лайнера, 3 – состоящие из алюминиевого лайнера и оболочки из композиционного материала на всей поверхности лайнера, 4 – состоящие из неметаллического лайнера, оболочки из композиционного материала на всей поверхности лайнера и металлических закладных элементов. В основе нормативных документов предполагается обязательное наличие металлического штуцера для крепления запорной арматуры.

Настоящий проект посвящен исследованиям и созданию композитных баллонов 4 типа, на полимерном лайнере с обмоткой силовой оболочкой из композитных материалов. Проект включает в себя следующие основные задачи: 1) изготовление полимерного лайнера методом ротационного формования; 2) подбор связующих, волокнистых материалов для силовой оболочки; 3) отработка намотки силовой оболочки на металлическую оправку, исследование схемы армирования, варьирование угла, шага намотки; 4) подбор совместимых материалов лайнера и силовой оболочки, изготовление опытных образцов композитных баллонов. Для реализации проекта изготовлена установка ротационного формования [3]. Схема установки приведена на рисунке 1.

В камере нагрева 1 расположена разъемная формующая оболочка 9, которая закреплена фиксаторами 8 в вилке суппорта 6, вращаясь вокруг вторичной оси 5 посредством цепной и конической передачи от суппорта 2, суппорт 2 установлен в подшипники, закреплённые в стойке 3, а привод приводит его во вращение вокруг главной оси 4.

В результате выполненных исследований [4] были подобраны оптимальные режимы ротационного формования лайнера. В частности, в диапазоне температурных режимов от 150 до 205 °С выбран нагрев при температуре 200-205 °С и времени выдержки 30 минут для полиэтилена Lotte UR-644 (LLDPE), при котором происходит равномерное расплавление всей массы материала. Проведены исследования в диапазоне соотношения скоростей главной и вторичной

оси от 8:1 до 1:5 и обосновано соотношение 2:1, при котором получено изделие с отклонением по толщине не более 1,5 мм.

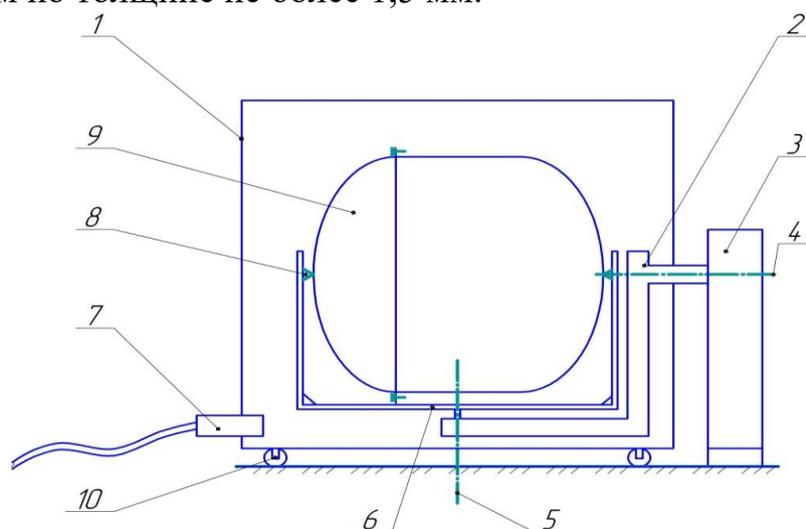


Рис. 1 – Схема экспериментальной ротационной установки

1 – печь; 2 – манипулятор; 3 – опорная стойка; 4 – главная ось вращения; 5 – вторичная ось вращения; 6 – вилка манипулятора; 7 – источник тепла (газовая горелка); 8 – быстросъемный фиксатор формы; 9 – форма; 10 – ролики для перемещения камеры нагрева

Проведены исследования связующих на основе эпоксидных смол ЭД-20, ЭХД и УП-610, потенциально пригодных для изготовления изделий методом «мокрой» намотки. По реологическим характеристикам связующих, физико-механическим и теплофизическим свойствам композитов обоснован выбор эпоксидангидридного связующего ЭДИ горячего отверждения состава: эпоксидная смола ЭД-20 (или ЭД-22) (100 масс.ч.), отвердитель изо-МТГФА (85 масс.ч.), ускоритель УП-606/2 (1 масс.ч.) [5].

Следующий этап - исследование и отработку процесса намотки проводили на экспериментальной установке [6]. Схема установки намотки приведена на рис. 2. Установка состоит из двух приводов на основе шаговых двигателей. Первый привод осуществляет вращение оправки, второй – перемещает пропиточный механизм. Пропиточный механизм представляет собой подвижное основание, на котором установлена ванна для связующего с водяной рубашкой и система роликов, обеспечивающая подачу, натяжение и пропитку армирующего волокна. Весь механизм установлен на роликах, которые могут кататься по направляющим рельсам. Возвратно-поступательное движение пропиточного узла осуществляется с помощью резинового зубчатого ремня. Установка работает следующим образом. В зажимные устройства станка устанавливается оправка для изготовления требуемого изделия. Пропиточный механизм устанавливают в исходное положение. Протягивают сухой ровинг через натяжные, направляющие и пропитывающие ролики и закрепляют его на оправке. Заполняют ванну предварительно приготовленным связующим, включают термостат, который обеспечивает циркуляцию теплоносителя в рубашке, тем самым подогревается и поддерживается необходимая температура связующего во время процесса намотки. С помощью компьютерной

программы задают следующие параметры: скорость возвратно-поступательного передвижения пропиточного механизма, частоту вращения оправки. Производится намотка композита по заданным параметрам.

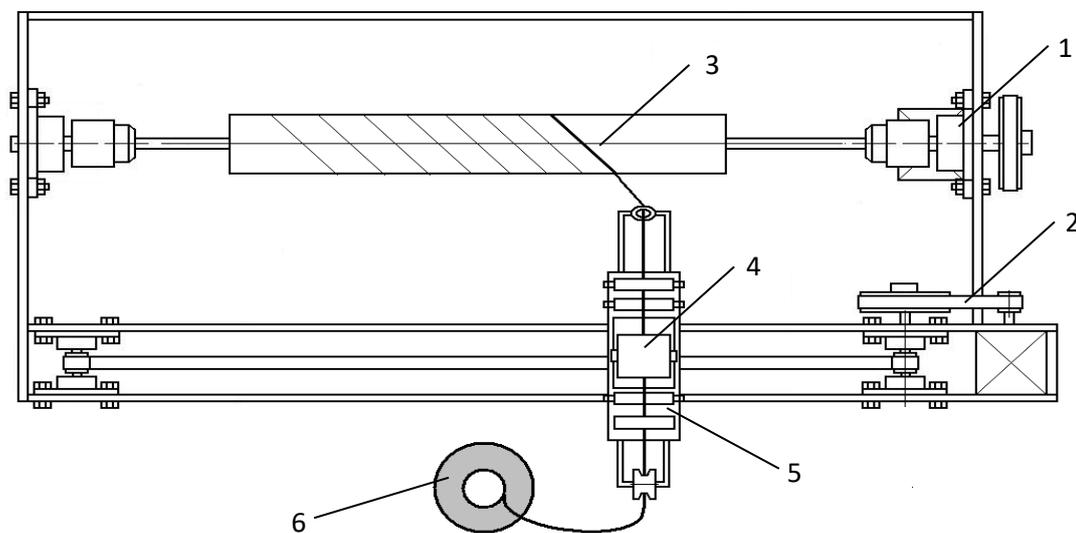
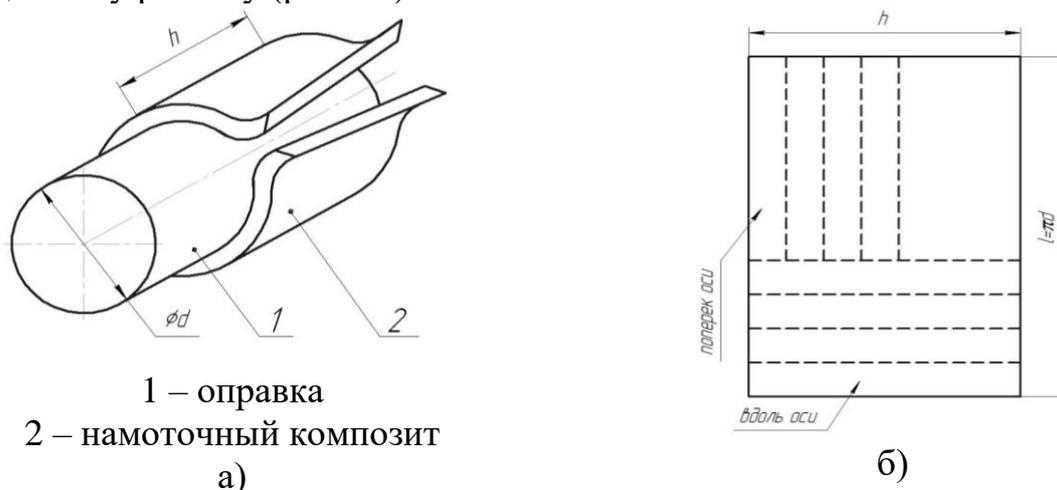


Рис. 2 – Схема установки намотки

- 1 – привод вращения оправки; 2 – привод возвратно-поступательного движения каретки; 3 – оправка; 4 – пропиточный узел; 5 – подвижная каретка; 6 – бобина армирующего наполнителя

Образцы в виде однонаправленных листовых пластинок изготавливали с помощью запатентованного авторского способа [7]. Сущность способа [7] заключается в формовании полого цилиндрического изделия с требуемым расположением армирующего материала, разрезке его вдоль оси, последующей развертке на плоскость, подпрессовке образца в плоской форме и отверждении по заданному режиму (рис. 3а).



- 1 – оправка
 2 – намоточный композит
 а)

Рис. 4 – Демонстрация способа изготовления листовых образцов намоточных изделий

Для определения механических характеристик из отвержденного листа вырезают в продольном или поперечном направлении образцы в виде пластинок (или лопаток) с необходимыми для каждого метода испытаний размерами, с

толщиной равной толщине листа (рисунок 3б). Определение характеристик композитов проводят известными методами. Предпочтение рекомендуется отдавать методу продольного изгиба [8,9] для получения наибольшего количества параметров в одном испытании: прочности, модуля упругости и предельной деформации.

На предложенной установке с помощью запатентованного метода было изготовлено 11 типов пластин, которые отличались как материалом армирующего ровинга (базальтовый, стеклянный, углеродный и их комбинации), так и видом связующего. Были изготовлены как однонаправленные композиты (для определения максимальных механических характеристик, реализуемых вдоль волокон), так и композиты с продольно-поперечным армированием, с чередованием от 2-х до 6-ти слоев. Некоторые результаты испытаний образцов на продольный изгиб приведены в работе [10].

На основе комплекса выполненных исследований, на выбранном составе связующего и армирующих материалов (базальтового и стеклянного ровинга), в опытных условиях была произведена намотка композитного баллона на полимерный лейнер, полученный методом ротационного формования. После отверждения баллонов проведены гидравлические испытания, результаты которых представлены в таблице 1.

Таблица 1

Гидравлические испытания композитных баллонов с полимерным лейнером

Образец	Толщина полимерного лейнера, мм	Толщина слоя обмотки, мм	Материал лейнера	Материал обмотки	Материал пропитки	Максимальное достигнутое давление, кгс/см ²
№1	4-5	3-4	ЛПЭНП	Ровинг РБН 17-4800	ЭДИ	55
№2	4-5	2	ЛПЭНП	Ровинг РБН 17-4800	ЭДИ	50
№3	4-5	3-4	ЛПЭНП	Базальтовый ровинг ВСФ 17-2520	ЭДИ	55

В результате гидравлических испытаний произошёл разрыв волокон поперечной намотки, это может объясняться неправильным процессом отверждения – учитывая, что материал лейнера полиэтилен, температура отверждения не превышала 100 °С, что явно недостаточно для полимеризации связующего ЭДИ, отверждаемого обычно при температурах 150-160 °С. На второй год выполнения проекта поставлена задача подбора совместимых материалов лейнера и связующего и совершенствования процессов намотки и отверждения композитного баллона. Хотя гидроиспытания не дали высоких результатов, но вместе с тем показали перспективность узла соединения (горловины), герметичность которой не нарушилась.

Работа выполнена при использовании оборудования Бийского регионального центра коллективного пользования СО РАН (ИПХЭТ СО РАН, г.

Бийск). Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Алтайского края в рамках научного проекта «Физико-химические основы создания и исследований полимерных композиционных материалов и разработка технологии изготовления композитных баллонов на их основе» № 18-48-220008-р_а.

Список литературы:

1. Игуменов, М.С. Разработка технологии изготовления гибридного сосуда высокого давления методом ротационного формования из линейного полиэтилена с применением армирования: дис. ...канд. техн. наук: 05.17.06 / Игуменов Максим Сергеевич. – СПб., 2015 – 145 с.

2. Воробей, В.В. Основы проектирование и технология сверхлегких композитных баллонов высокого давления: монография / В.В. Воробей, В.Б. Маркин. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2014. – 166 с.

3. Хабазин, И.С. Экспериментальные исследования температурных режимов ротационного формования полиэтилена низкой плотности мелкодисперсной фракции на экспериментальной установке ООО «Полимер» / И.С. Хабазин, А.Н. Блазнов. // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: материалы IX Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием (18-20 мая 2016 г., г. Бийск) / Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2016. – С. 152-154.

4. Блазнов, А.Н. Теоретические и экспериментальные исследования процесса ротационного формования полимерного лейнера / А.Н. Блазнов, И.С. Хабазин // Южно-Сибирский научный вестник. – 2018. – № 3 (23). – С. 99-105.

5. Ходакова, Н.Н. Оптимизация рецептуры эпоксидного связующего для базальтопластиковых намоточных изделий / Н.Н. Ходакова, В.В. Самойленко, Д.Е. Зимин, Т.К. Углова, В.В. Фирсов, А.Н. Блазнов // Ползуновский вестник. – 2016. – № 4. – Т.1 – С. 195-199.

6. Самойленко, В.В. Разработка системы программного управления изготовлением намоточных изделий из полимерных композиционных материалов / В.В. Самойленко // Ползуновский вестник. – 2016. – № 4. – Т.1. – С. 225-228.

7. Патент № 2597811 РФ. Способ определения механических характеристик полых трубчатых изделий из полимерных композиционных материалов / Самойленко В.В., Блазнов А.Н., Фирсов В.В., Зимин Д.Е., Ходакова Н.Н., Углова Т.К., заявитель и патентообладатель ИПХЭТ СО РАН – № 2015128703, заявл. 14.07.2015, опубл. 20.09.2016, – Бюл. № 26.

8. Блазнов, А.Н. Методы механических испытаний композиционных стержней: монография / А.Н. Блазнов, В.Ф. Савин, Ю.П. Волков, А.Я. Рудольф, О.В. Старцев, В.Б. Тихонов; под ред. А.Н. Блазнова, В.Ф. Савина. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2011. – 314 с.

9. Пат. 2451281. Российская Федерация, МПК G01N. Способ определения механических характеристик стержней из полимерных композиционных материалов и устройство для его реализации (варианты) /

Рудольф А.Я., Поздеев С.П., Савин В.Ф., Луговой А.Н., Блазнов А.Н., Старцев О.В., Тихонов В.Б., Локтев М.Ю.: заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Бийский завод стеклопластиков» (RU). - № 2010139689/28; заявл. 27.09.2010; опубл. 20.05.2012; бюл. № 14. – 12 с.: ил.

10. Журковский, М.Е. Исследование механических свойств намоточных гибридных полимерных композиционных материалов / М.Е. Журковский, З.Г. Сакошев, А.Н. Блазнов, Д.Е. Зимин, В.В. Фирсов, В.В. Самойленко, Н.Н. Ходакова // Южно-Сибирский научный вестник.– 2018. – № 3 (23). – С. 39-43.