

УДК 62-405.8

В. А. Витренко, д-р техн. наук, проф., **Г. В. Сыровой**, канд. техн. наук, доцент,
В. А. Перевозчиков, аспирант,
ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени В. Даля»
E-mail: siiig26@mail.ru

УВЕЛИЧЕНИЕ РЕСУРСА ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕТАЛЛОПЛАСТИКОВОГО БАЛЛОНА НА ОСНОВЕ НАНОАРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИТНОЙ ОБОЛОЧКИ

В статье рассмотрено повышение ресурса металлопластикового баллона на основе наномодификации полимерной матрицы. Были проведены исследования стандартного баллона на ресурс, изготовленного из стеклонити. Определено что композитные материалы влияют на ресурс лайнера баллона. В качестве наномодификатора в статье рассмотрен Аэросил А-300, описаны его физические свойства и влияние на композитную матрицу. Предложено использовать данный материал в качестве модификатора в эпоксидную матрицу при намотке металлокомпозитного баллона

Ключевые слова: эпоксидная матрица, наномодификатор, аэросил, металлопластиковый баллон, ресурс, технология изготовления.

V. A. Vitrenko, G. V. Syrovoy, V. A. Perevozchikov

THE INCREASE IN RESOURCE EXPLOITATION PLASTIC CONTAINER BASED ON THE NANOREINFORCING COMPOSITE SHELL

The article considers the increase of the resource of metal-plastic balon on the basis of nanomodification of the polymer matrix. Studies of the standard balloon on the resource made of glass, were carried out. It is determined that composite materials affect the resource of the balloon liner. As a nanomodifier, the article examines the Aerosil A-300, describes its physical property and influence on the composite matrix. It is proposed to use this material as a modifier in the epoxy matrix when winding metal composite balon

Keywords: epoxy matrix, nanomodifier, aerosil, metal-plastic balon, manufacturing technology

1. Введение

Металлопластиковые баллоны высокого давления по критерию массового совершенства показали свое преимущество по сравнению со стальными баллонами и продолжают использоваться в средствах дыхательных систем и средств спасения [1,2].

Металлопластиковые баллоны изготавливаются методом «мокрой» намотки на металлический лайнер, служащий герметизирующим слоем, композитной оболочки из стеклонитей, органонитей или угленитей с дальнейшей пропиткой связующим. Такие баллоны имеют установленный ресурс, который с введением новых требований постоянно изменяется [3,4].

В процессе эксплуатации металлопластиковые баллоны подвержены циклическому нагружению внутренним давлением, при котором в металле лайнера возникают усталостные повреждения, приводящие к потере герметичности. Поэтому увеличения ресурса эксплуатации металлопластиковых баллонов можно достигнуть использованием гибридной намотки волокнистым материалом. Одновременно можно защитить эти волокна от химических, атмосферных и других внешних воздействий, а также увеличить воспринимаемость усилий, развивающихся в композите при работе под нагрузкой путём введения наноразмерных частиц различной природы в матрицу связующего [5,6].

Целью данной работы: является исследование технологических режимов намотки за счет использования полимерных композиционных материалов с изменением

структуры армирования и наномодификации полимерной матрицы увеличивающих ресурс эксплуатации металлопластикового баллона.

2. Материал и метод.

Экспериментальные исследования показали, что баллоны, спроектированные на статическую прочность с нормативным коэффициентом безопасности 2,61, при числе циклов нагружения от 800 до 1000 рабочим давлением теряют герметичность из-за усталостного разрушения лайнера. При этом возникла задача создания и экспериментального подтверждения теории и методики расчета композитных баллонов на заданное число циклов нагружения с учетом минимальной массы и стоимости конструкции. Специфика эксплуатации баллонов такова, что они за время своего ресурса работают в режиме малоциклового нагружения (10^2 – 10^4). Автомобильные баллоны для газообразного топлива должны быть рассчитаны на ресурс в количестве 15 000 заправок, а для летательных аппаратов – не менее 5000 [7].

В металлокомпозитном баллоне из-за разных предельных деформаций металла и пластика в металлической части баллона возникают значительные деформации, приводящие к снижению ресурса. Поэтому с целью определения ресурса было изготовлено десять одинаковых баллонов, на рабочее давление 15,0 МПа, намотанных по стандартной схеме и из одного композитного материала. Для определения запаса прочности три баллона были разрушены внутренним давлением $40,0 \pm 0,5$ МПа. Оставшиеся семь были подвергнуты циклическому нагружению внутренним давлением различной величины с замером относительных деформаций в стенке баллона на каждом уровне внутреннего давления.

3. Исследование металлопластиковых баллонов

Баллоны испытывались водой с периодом нагружения 3...4 сек от нуля до заданного давления, при этом производилось измерение относительных деформаций по осевых и окружных направлениях. В процессе испытаний баллоны теряли герметичность на цилиндрической части, появлением капель воды на мелованной эмульсии нанесенной на поверхность композитной части баллона. После испытаний, для установления характера разрушения, с баллонов снималась стеклопластиковый слой, а лайнер испытывался воздухом для обнаружения усталостной трещины. Трещины располагались вдоль образующей, поперек наибольшей из окружных деформаций.

Таблица 1. – Значения ресурса эксплуатации металлопластиковых баллонов в зависимости от относительных деформации обечайки.

№ бал.	P, МПа	ε_{oc} , %	$\varepsilon_{окр}$, %	$\varepsilon_{экв}$, %	N, цикл.
1	15,0	0,157	0,542	0,559	1550
2	15,0	0,161	0,546	0,563	3380
3	15,0	0,165	0,539	0,559	2178
4	15,0	0,151	0,549	0,559	1819
5	10,0	0,115	0,382	0,396	3220
6	10,0	0,111	0,378	0,388	7970
7	10,0	0,109	0,383	0,393	3982

Усталостных разрушений композитного слоя на баллонах не обнаружено, результаты испытаний приведены в таблице 1.

Проведенный эксперимент показал, что ресурсом обечайки или металлической части лайнера баллона можно управлять намоткой композитного слоя не только однотипной нитью, но используя гибридную намотку несколькими семействами нитей. Для достижения конструкционной прочности намоточные слои также можно чередовать между собой. Например, спиральный слой наматывать из стеклонити, а кольцевой из угленити. Таким образом, достигается равнопрочность в слоях баллона. Но технологически сложно при серийном производстве, во время процесса намотки заменять марку нити. Поэтому добавление в матрицу определенного количества наноматериала при намотке, дает возможность не менять марку нити и намотку проводить одним семейством нитей. Таким образом, можно не только изменять свойства слоев композитного материала, но и увеличить заданный ресурс металлопластикового баллона.

На основании этого были сформулированы основные задачи, по увеличению ресурса эксплуатации металлопластиковых баллонов (рис. 1).

Специфика композитного материала такова, что независимо от того, производится ли оно непосредственно на предприятии или приобретается, перед намоткой металлокомпозитных баллонов подвергается тем или иным технологическим операциям, в процессе которых изменяются некоторые из его геометрических параметров, а, следовательно, и физико-механические характеристики.



Рисунок 1. Схема задач повышения ресурса эксплуатации металлопластиковых баллонов

В связи с этим, актуальной представляется задача разработки технологического обеспечения всех требований к связующим и армирующим материалам в тех случаях, когда их характеристики выходят за рамки допустимых значений, вследствие отклонений, подлежащих целенаправленной корректировке в процессе изготовления металлокомпозитных баллонов. Эта задача должна решаться в рамках экспериментально-теоретического подхода.

4. Исследование композитного слоя металлопластикового баллона

Стекловолокно является одним из самых распространенных материалов, используемых при намотке металлопластиковых баллонов, поэтому в своих исследованиях остановимся на данном материале и совместимым с ним наномодификатором – аэросилом.

Свойства стекловолокон определяются, в первую очередь, составом стекла. Стекло E – конструкции, требующие невысокой упругости и усталостной прочности. Стекло S – легковесные конструкции, выдерживающие большие нагрузки. Основной причиной такого широкого диапазона значений основных характеристик стеклонитей является наличие дефектов в волокнах и влияние на них атмосферной влаги.

В качестве эпоксидного связующего используем эпоксидные смолы. Эпоксидные смолы представляют собой смесь олигомерных продуктов с эпоксидными группами на концах звеньев. Эпоксидные связующие обладают хорошей адгезией к различным волокнам, могут длительное время находиться в неотвержденном состоянии, что позволяет изготавливать на их основе предварительно пропитанные и частично отвержденные полуфабрикаты (препреги). Модифицированные эпоксидные связующие имеют повышенную теплостойкость с работоспособностью при температуре до 200°C.

Для изготовления наномодифицированной композитной оболочки и прогнозирования её свойств была проведена идентификация структуры и дисперсности самого наномодификатора. Самый распространенный метод исследований структуры - рентгено-

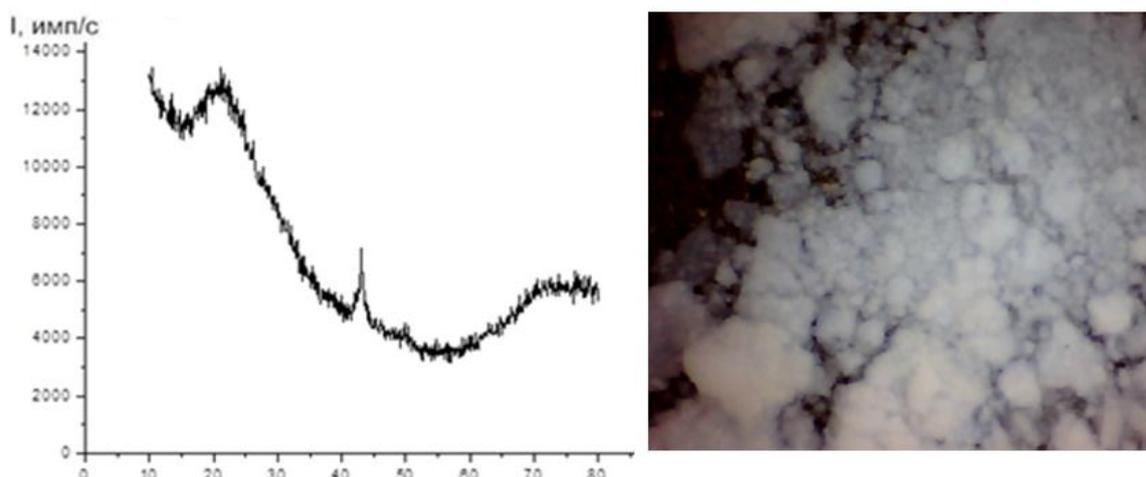


Рисунок 2. Дифрактограмма и микроструктура аэросила А-300

ноструктурный анализ. При этом рентгенограммы получены на дифрактометре ДРОН-И в интервале углов 10-70°, излучение $\text{CuK}\alpha$, (1,5406 Å) а микроструктура образцов-

свидетелей на микроскопе типа POLMI.

На рентгенограмме аэросила А-300 (ГОСТ 14922-77), (рис. 2) отчетливо индицируются рефлексы от плоскостей 101: 112: 100, что соответствует кристаллической структуре SiO_2 гексагональной модификации. Примесные линии не идентифицировались. Дисперсность порошков до 5 нм.

Проведенное сравнение изученных модификаторов по дисперсности (5-100 нм), удельной поверхности (τ) и удельной плотности (ρ) показало, что их можно использовать как наномодификаторы для дальнейших исследований и прослеживания количественного и качественного влияния модификатора на физико-химические свойства наномодифицированного материала на основе эпоксидного компаунда.

Исследования показали, что введение наномодификатора аэросил А-300 до 5% не приводит к изменению основного расстояния в структуре матрицы, но снижает её интенсивность. Вероятно, дисперсность SiO_2 позволяет внедриться в сетчатую структуру матрицы (рис.3).

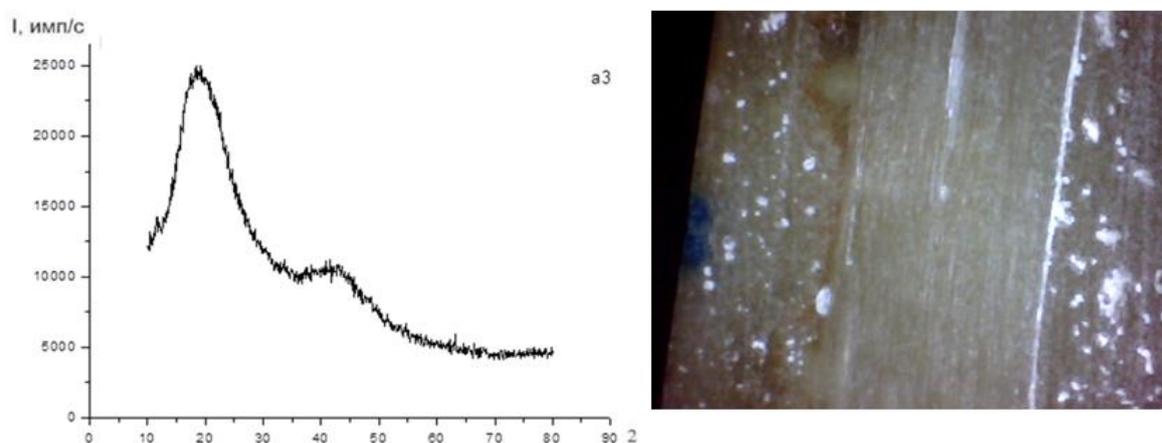


Рисунок 3. Дифрактограмма и микроструктура эпоксидного композиционного материала+3% аэросила А-300

Изменение интенсивности максимумов, характеризующих структурируемые блоки и расстояния между ними в полимере, находится в зависимости от количества вводимого модификатора.

На основе рациональных режимов получения модифицированных полимерных композитов был разработан механизм взаимодействия наномодификаторов с полимерной матрицей, что послужило основой для разработки технологии намотки металлопластиковых баллонов, повышающих их ресурс.

5. Выводы

1. Проведенные испытания показали, что ресурс эксплуатации металлопластиковых баллонов напрямую зависит от технологии их намотки и этим процессом можно управлять.

2. Наноармирование композитной оболочки позволило:

- увеличить адгезионную прочность полимерного композита при введении в него 1-2% наномодифицированного материала в 1,5 раза;

- повысить показатели герметичности на 30% при введении наномодификатора до 2%;

- увеличить прочность однниточного микропластика на основе стекловолокна при 1-2% наномодификации аэросилом на 15%.

3. Разработанный технологический процесс намотки металлопластиковых баллонов на основе наномодифицированной полимерной матрицы, позволит увеличить ресурс эксплуатации в 1,5 раза.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Витренко, В. А. Повышение ресурса малогабаритных корпусов на основе оптимизации структурных параметров намотки/ В. А. Витренко, Г. В. Сыровой // Ресурсосберегающие технологии производства и обработки давлением материалов в машиностроении: Сб. науч. тр. – Луганск: изд-во ЛНУ им. В. Даля, 2016. – №2(17) – С. 82-90.

2. Ивановская, О. В. Методы проектирования металлокомпозитных баллонов высокого давления для систем летательных аппаратов и конверсионного назначения: дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук / О. В. Ивановская // Национальный аэрокосмический университет (ХАИ). – Харьков: ХАИ, 2002. – 160 с.

3. Игуменов, М. С. Разработка технологии изготовления гибридного сосуда высокого давления методом ротационного формования и линейного полиэтилена с применением армирования: дис. канд. техн. наук / М. С. Игуменов: Санкт-Петербургский государственный технологический институт. – Санкт-Петербург, 2015. – 145.

4. Молочев, В. П. Разработка композиционных баллонов давления для космической техники / В. П. Молочев // Механика композиционных материалов и конструкций. – М, 2010. – Т. 16. – № 4. – С. 587-596.

5. Сыровой, Г. В. Определение несущей способности металлического лайнера композитного баллона / Г. В. Сыровой, Н. В. Ивин, Е. В. Синдеева // Ресурсосберегающие технологии производства и обработки давлением материалов в машиностроении: Сб. науч. тр. – Луганск: изд-во ЛГУ им. В. Даля, 2016. – С. 80-87.

6. Малков, И. В. Механизм модификации полимерных композитов наночастицами / И. В. Малков, А. Г. Макухин, Г. В. Сыровой // Вестник Тамбовского государственного технологического университета – Тамбов: ТГТУ, 2016. – Т.22. – № 1. – С.98-107.

7. Пименов, И. В. Расчет баллона высокого давления из ПВХ лайнера и базальтопластиковой силовой оболочки / И. В. Пименов // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. – 2014. – № 36. – С. 77-94.

Поступила в редколлегию 10.02.2021 г.