

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ИЗДЕЛИЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ**

Сахапова Т.С., Игнатов А.В.*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)*

***avi@bmstu.ru**

В работе приведено сравнение технологий изготовления изделий из стеклопластика. Сформирована классификация технологических процессов изготовления стеклопластиковых изделий в зависимости от типа конструкции. Предложено инновационное технологическое решение изготовления сложнопрофильных полимерных конструкций.

Ключевые слова: технология, технологический процесс, стеклопластик, полимерные емкости, инновационный технологический процесс.

**TECHNOLOGICAL SOLUTION FOR MANUFACTURING
FIBERGLASS PRODUCTS OF COMPLEX SHAPE**

Sakhapova T.S., Ignatov A.V.

N.E. Bauman Moscow State Technical University

The paper presents a comparison of technologies for manufacturing fiberglass products. The classification of technological processes for the manufacture of fiberglass products has been formed, depending on the type of construction. An innovative technological solution for the manufacture of complex polymer structures is proposed.

Keywords: technology, technological process, fiberglass, polymer containers, innovative assembly process.

Введение

Одним из распространенных полимерных материалов является стеклопластик, который состоит из композиции синтетического терморезактивного или термопластичного полимерного связующего и стеклянного наполнителя (стекловолокна, стеклоткани, стекловолокна, жгута, мата и т. д.). Применение стеклопластика в качестве корпусного материала началось ещё в 40-х годах XX века, с того времени было разработано большое количество стеклопластиковых изделий и методов изготовления, которые совершенствуются до сих пор. Практически 87 % рынка полимерных изделий занимает стеклопластик, в то время как применение арамидного волокна и углеволокна составляет около 10–12 % [1]. Стеклопластик используется для изготовления труб, плавательных бассейнов, баллонов высокого давления, цистерн, корпусных деталей. Кроме того, стеклопластик применяется в качестве электроизоляционного материала в радиоэлектронике, приборостроении, электротехнике. Данный материал отлично зарекомендовал себя как высокопрочный, сверхлегкий, стойкий к воздействию агрессивных сред, экономически выгодный и доступный к применению, за счет чего стеклопластик широко используется при замене металла на более легкий и прочный материал. Замена металла на стеклопластик обусловлена также потребностью в снижении трудоемкости изготовления изделий, уменьшения зон внутренних напряжений за счет уменьшения количества сварных соединений, в снижении себестоимости изготовления и ремонта, а также в увеличении срока службы изделия.

Исходя из большого количества отраслей применения стеклопластика, существует более десятка способов изготовления стеклопластиковых изделий. Все они имеют свои преимущества и недостатки. Выбор технологии для изготовления того или иного изделия формируется на основании технико-экономического обоснования, которое, в свою очередь, включает специфику и тип производства, номенклатуру изготавливаемых изделий, производственные мощности, существующий технологический процесс производства. Цель данной статьи подобрать технологию изготовления монолитных конструкций из стеклопластика с учетом особенности производства стеклопластиковых резервуаров сложной формы для транспортировки агрессивных сред в составе смесительно-зарядной машины [2].

Конструктивные решения стеклопластиковых изделий

Основными особенностями конструкции стеклопластиковых изделий являются форма, габаритные размеры, толщина слоя, наличие отверстий и дополнительных соединений. Кроме того, особое влияние на конструкцию изделия оказывают эксплуатационные требования, которые включают в себя совместимость с применяемой рабочей средой, воздействия окружающей среды, ограничения со стороны смежного комплектующего оборудования и требований безопасности. Существует ряд рекомендаций по конструированию [3], которые позволяют унифицировать и стандартизировать основные части стеклопластиковых изделий. Проанализировав все типы конструкций стеклопластиковых изделий, можно разделить их на две основные группы: конструкции открытого и закрытого типа. Открытый тип конструкции представляется собой оболочку или корпус, не имеющий замкнутого профиля. В то время как закрытый тип является монолитной структурой, имеющей максимум 2 или 3 открытых поверхности. На *рис. 1* представлена структурная схема группировки конструкций.

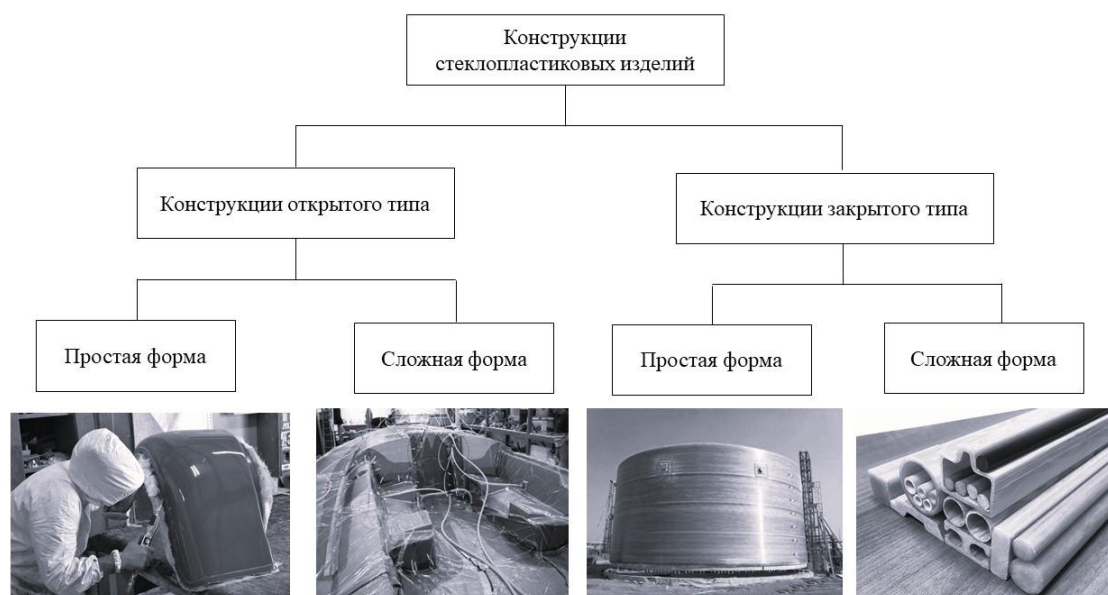


Рис. 1. Классификация конструкций стеклопластиковых изделий

Емкость, предназначенная для транспортировки агрессивных сред, входящая в состав смесительно-зарядной машины, относится к группе конструкций закрытого типа со сложной формой. На *рис. 2* представлены типовые формы стеклопластикового бака. Корпус бака будет включать металлическое днище, металлическую крышку и металлические формообразующие кронштейны (направляющие), соединяющие крышку и днище, а также часть стеклопластика, формирующего рельефную стенку емкости, что соответствует требованиям российских и европейских стандартов.

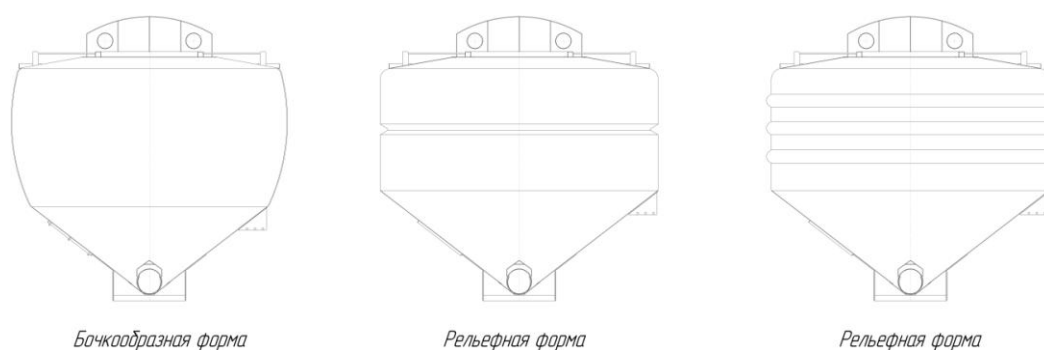


Рис. 2. Возможные конфигурации полимерных баков смесительно-зарядной машины

Согласно ДОПОГ и ТР ТС 018/2011 к бакам смесительно-зарядных машин предъявляются следующие требования:

- корпус должен иметь толщину стенки не меньше 3 мм;
- материал емкостей должен быть коррозионно-устойчив;
- конструкция должна быть устойчива к внешним механическим воздействиям и ударам в процессе эксплуатации;
- отверстия корпусов, опорожняемых снизу, должны иметь винтовые пробки, глухие фланцы или другие герметичные соединения;
- вещества, которые могут вступить в реакцию, не должны перевозиться в смежных секциях, либо смежные секции должны иметь перегородку, равной толщине стенки самой емкости или превышать ее.

Технологические решения изготовления стеклопластиковых изделий

Для решения поставленных технологических задач необходимо проанализировать существующие технологические процессы и оборудование для изготовления изделий из стеклопластика, чтобы выделить наиболее подходящее технологическое решение для изготовления стеклопластикового резервуара сложной формы. К основным методам изготовления стеклопластиковых изделий [4, 5] относятся: ручное формование, автоматическая укладка ленты (ATL, AFP), напыление, намотка, пултрузия, пропитка под давлением (RTM), вакуумная инфузия (RFI), аддитивные технологии. Описание технологических методов, их преимущества и недостатки указаны в *табл. 1*. На *рис. 3* представлена схема группировки технологических методов изготовления стеклопластиковых конструкций в зависимости от типа конструкции получаемого изделия.

Таблица 1

Сравнение технологических методов изготовления стеклопластиковых конструкций

Метод	Преимущества	Недостатки
Ручное формование	Простота процесса Минимальное капиталовложение Возможно получение изделий сложной формы Отсутствие привязки к конкретному типоразмеру	Низкая производительность Потребность в высокой квалификации персонала Наличие отходов производства
Автоматическая укладка ленты	Высокая производительность процесса Возможность изготовления крупных деталей Упрощенная схема автоматизации	Высокое капиталовложение Ограниченные возможности геометрической сложности Минимальный радиус поворота волокна
Напыление	Не требуется раскрой материала и подготовка смеси Экономия времени и полезных площадей	Потребность в высокой квалификации персонала Отсутствие контроля характеристик изделия
Намотка	Экономически выгодный метод производств Возможность регулировки соотношения связующее-наполнитель	Формирование ограниченного количества типоразмеров в зависимости от оснастки

Метод	Преимущества	Недостатки
	Создание монолитной конструкции Высокая прочность получаемых изделий	Высокие требования к ориентациям волокон и подбор режимов оборудования
Пултрузия	Автоматизированное управление Высокое качество получаемых изделий Получение разных профилей конструкции	Высокие капиталовложения Сложности в обеспечении строго постоянного сечения изделий по всей длине, кроме изделий с простой формой сечения
Пропитка под давлением	Получение изделий высокого качества без воздушных включений Соблюдение заданных геометрических характеристик Минимальные отходы производства	Высокая трудоемкость и капиталовложения; Сложность регулирования содержания наполнителя в материале изделия Необходимость применения специальной оснастки
Вакуумная инфузия	Минимальное количество отходов производства Высокие показатели качества стеклопластиковых изделий Изготовление крупногабаритных изделий	Высокая себестоимость изделий Высокие требования к квалификации рабочих Сложность использования вакуумного оборудования
Аддитивные технологии	Высокая точность изготовления Возможность регулирования режимов процесса Высокая гибкость производства	Сложность прототипирования Высокие капиталовложения Недостаточно изученные технологии Ограниченные габариты изделия

При исследовании технологий изготовления стеклопластиковых изделий выявлен ряд ограничений, не позволяющих применить конкретный метод для изготовления сложнопрофильного монолитного бака смесительно-зарядной машины. Эти ограничения включают в себя: формирование ограниченных типоразмеров, в зависимости от оснастки, высокая трудоемкость и высокая стоимость применяемого оборудования, отсутствие возможности точного контроля за характеристиками изделия, не создается крупногабаритная сложнопрофильная монолитная конструкция, большое время сушки полимерных изделий от 12 часов до 3х дней.

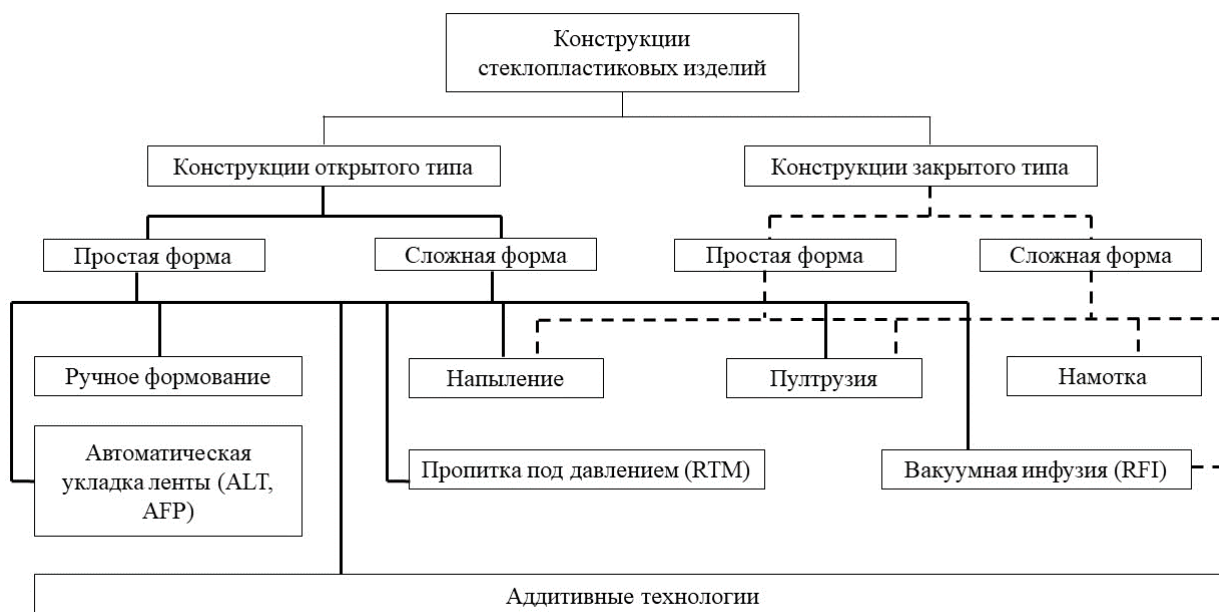


Рис. 3. Схема группировки технологических методов изготовления стеклопластиковых конструкций в зависимости от типа конструкции получаемого изделия

Таким образом, необходимо создать новый метод изготовления стеклопластиковых изделий закрытого типа сложной формы, который в дальнейшем будет применен для изготовления стеклопластикового резервуара сложной формы.

Новый метод изготовления сложнопрофильных емкостей из стеклопластика

Исходя из выявленных потребностей создания нового способа изготовления стеклопластиковых изделий для реализации резервуара из стеклопластика сложной формы, предлагается инновационное технологическое оборудование для формирования сложнопрофильного бака [6]. Проанализировав существующие технологии изготовления сложных конструкций закрытого типа, наиболее востребованным и экономически обоснованным является метод намотки. Данный процесс был взят за основу создания инновационного технологического процесса формирования сложнопрофильного стеклопластикового бака. В ходе дальнейшего исследования планируется разработать и подобрать комплектующее оборудование, разработать технологический процесс изготовления сложнопрофильных емкостей, подобрать режимы и оптимизировать работу. Преимуществами нового инновационного процесса изготовления стеклопластиковых монолитных конструкций сложной формы будут: низкая трудоемкость, ускоренное отверждение, быстрая переналадка на новый типоразмер, получение высокопрочных стеклопластиковых изделий.

Заключение

Развитие и усовершенствование методов изготовления стеклопластиковых изделий позволяют расширять номенклатуру конструкций и внедрять технологии в отрасли, которые никогда не использовали полимерные материалы. Чтобы проанализировать все технологические методы изготовления композитных изделий, в статье было предложено сгруппировать эти методы по типам изготавливаемых изделий. С помощью предложенной группировки и классификации изделий по типу конфигурации конструкции получилось выявить основные недостатки и преимущества каждой технологии, а также оценить применимость того или иного способа изготовления к изготовлению определенного типа изделия. Для сложнопрофильных монолитных конструкций закрытого типа можно применять такие методы как напыление, пултрузию, намотку, вакуумную инфузию и аддитивные технологии, но с учетом ряда ограничений ни один из предложенных способов не подходит для изготовления сложнопрофильного бака из стеклопластика смесительно-зарядной машины. Поэтому в данной статье предложен инновационный метод формирования сложной монолитной конструкции. Данный способ изготовления емкостей позволит снизить трудоемкость и себестоимость изготовления резервуаров, позволит повысить эксплуатационные характеристики емкостей за счет применения полимерного материала с высокими прочностными показателями, а также обеспечит быструю переналадку оборудования под другой типоразмер емкостей путем быстрой механической настройки оснастки без изменения технологии производства.

Библиография

1. Доримедов М.С. Российский и мировой рынок полимерных композитов // Полимерные материалы. Труды ВИАМ. 2020. № 6-7 (89). С. 29–37.
2. Дудник Г.А., Радьков В.В., Тихонов В.А. Смесительно-зарядная машина с универсальным бункером эмульсионной матрицы // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. S. 2. С. 228–234.
3. Любин Дж. Справочник по композиционным материалам: в 2-х кн. М.: Машиностроение, 1988. Кн. 2. 448 с.
4. Власов Д.Д., Жавыркин В.В., Клементьев К.В. Технологии производства деталей из композитных материалов и их применение в железнодорожной отрасли (обзор) // Вестник научно-технического развития. 2021. № 162. С. 3–21.
5. Al-Furjan M.S.H., Shan L., Shen X., Zarei M.S., Hajmohammad M.H., Kolahchi R. A review on fabrication techniques and tensile properties of glass, carbon, and Kevlar fiber reinforced polymer composites // Journal of materials research and technology. 2022. № 19. P. 2930–2959.
6. Сахапова Т.С., Игнатов А.В. Создание средств производства для изготовления сложнопрофильных полимерных емкостей // Известия Кабардино-Балкарского государственного университета. 2022. № 3. С. 89–95.