

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОСВОЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*Токменинов К.А., кандидат технических наук, доцент,
Белорусско-Российский университет*

Аннотация: рассмотрены вопросы эффективности освоения полимерных композиционных материалов (КМ) в промышленности. Представлены состав, структура, технико-экономические характеристики и основные технологии изготовления изделий из КМ. Обоснованы основные преимущества изделий из КМ перед изделиями из традиционных конструкционных материалов. Представлен краткий исторический обзор этапов создания и совершенствования полимерных композиционных материалов. Приведены результаты технико-экономического обоснования эффективности внедрения КМ в производство на примере СЗАО «Могилевский вагоностроительный завод», основные характеристики оборудования для изготовления железнодорожных цистерн из стеклопластика на предприятии.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, технология изготовления

Современные полимерные композиционные материалы являются наиболее перспективными конструкционными материалами для различных отраслей промышленности, транспорта, сельскохозяйственной и иной техники.

Промышленностью серийно освоены три вида КМ – стеклопластики, углепластики и органопластики. Все указанные материалы имеют одинаковую структуру: высокопрочную армирующую основу и полимерную матрицу, связывающую основу в единый конструкционный элемент. В качестве армирующей основы может быть использована стеклоткань или полученная на ее основе стеклоткань, углеродная нить или ткань, арамидная нить или ткань. Арамидная нить в странах СНГ называется «СВМ» (синтетический высокопрочный материал), в США – «Кевлар». Название материала стеклопластик и углепластик получено, исходя из названия армирующей основы. Композиционный материал «органопластик» имеет в качестве основы арамидный материал. В настоящее время наря-

ду с названием «углепластик» широко распространено второе название этого материала – «карбон». Это название возникло в связи с тем, что одной из стадий получения углеволокна является процесс карбонизации, который заключается в нагреве углеродной нити до температуры 1500°C в процессе изготовления. Основным связующим в указанных КМ используются эпоксидные смолы с отвердителем.

Для обеспечения высоких прочностных и технологических свойств определено оптимальное соотношение армирующей основы и связующего композиционного материала, которые составляют 70% и 30% объемных соответственно.

Перспективность использования КМ обусловлена его уникальными свойствами: высокой прочностью и одновременно низкой плотностью. Особенностью является также то, что конструкция и материал формируются одновременно на одной стадии. Это существенно расширяет возможности конструирования и создания изделий из компози-

ционных материалов. Вместе с тем существенно возрастают требования к профессиональному уровню создателей изделий из КМ.

Малый вес изделий из КМ обусловлен низкой плотностью этих материалов. Наименьшую плотность имеют органопластики – $1,3 \text{ г/см}^3$ при прочности до 1000 Мпа, углепластик имеет плотность $1,5 \text{ г/см}^3$ при той же прочности. Эти характеристики свидетельствуют о том, что указанные КМ приблизительно в два раза легче высокопрочных деформируемых алюминиевых сплавов и при этом в три раза прочней. Стеклопластики имеют более низкие по сравнению с предыдущими КМ характеристики, но существенно дешевле. Плотность стеклопластиков 2 г/см^3 , прочность – 300 Мпа. В ряде случаев для конкретной конструкции важной также является ее жесткость, которая определяется модулем упругости. Наибольшую жесткость имеют углепластики, модуль упругости 110 – 140 Гпа. Она близка к жесткости стальных сплавов. Модуль упругости стеклопластиков равен 21...41 Гпа. Для сравнения модуль упругости штампованных алюминиевых сплавов равен 70 Гпа. Следует отметить, что КМ обладают высокой анизотропией свойств. Имеют высокие физико-механические характеристики вдоль направления армирования основы и на порядок меньше поперек армирования. Указанные свойства учитываются при проектировании не только собственно изделия, но требуют также проектирования материала.

В настоящее время изделия из композиционных материалов резко расширяют области применения и объемы производства. Это приводит к существенному снижению их стоимости. Например, стоимость углепластиков за последние годы снизилась с 400 долларов за килограмм до 20 долла-

ров за килограмм. Стоимость стеклопластиков стала ниже стоимости сплавов из сталей.

По мере освоения полимерных композиционных материалов изучались их свойства, выявлялись новые преимущества перед традиционными конструкционными материалами. Впервые промышленное применение получили стеклопластики. В 1942 году они были использованы в США при изготовлении элементов крыла самолета Аэрокобра. Это позволило повысить тактико-технические характеристики. Дальнейшее развитие КМ получили во второй половине 60-х годов XX столетия. Это были также стеклопластики, из которых стали изготавливать верхние ступени ракет вместо алюминиевых сплавов. В семидесятые годы XX столетия появились новые более совершенные КМ – углепластики и органопластики. Из них стали изготавливать не только корпуса ракет, но и корпуса ракетных двигателей твердого топлива (РДТТ).

При этом был выявлен ряд дополнительных преимуществ КМ перед традиционными конструкционными материалами:

- отсутствие снижения прочностных характеристик при вибрационных и знакопеременных нагрузках (усталостная прочность материалов). После базового числа циклов 10^6 в изделиях из КМ не наблюдалось снижения прочности;
- химическая инертность материала, отсутствие взаимодействия с агрессивными средами;
- стабильность характеристик в течении длительного периода;
- высокая удельная прочность;
- высокая технологичность, практически безотходные технологии.

В настоящее время наиболее распространены две технологии изготовления изделий из КМ:

– для изделий близких по форме к телам вращения используется технология спиральной намотки лентами, сформированными из указанных выше нитей на станках с числовым программным управлением. Могут также использоваться комбинации армирующих нитей;

– для изделий в форме различных панелей используется технология вакуумного прессования КМ из армирующей основы в виде тканей.

Современный уровень развития технологий получения изделий из КМ обеспечивает возможность изготовления широкой гаммы продукции.

Большое применение КМ получили в авиационной промышленности. Российский среднемагистральный самолет МС-21 имеет крылья целиком изготовленные из углепластиков. При изготовлении широко используется автоматизация работ. При этом существенно снижена масса самолета, возрос его ресурс, увеличился интервал между регламентными работами. Все это позволило сократить эксплуатационные затраты за счет снижения расхода топлива, затрат на регламентные и ремонтные работы. Повысилась конкурентоспособность указанных самолетов.

Композиционные материалы активно внедряются в автомобилестроение, при производстве цистерн и емкостей. Получили признание новые технологии с использованием КМ в строительстве, в частности при строительстве мостов, навесов, дорог и др.

Для стран, не имеющих собственных рудных ресурсов металлов, например Республика Беларусь, или при большой удаленности от поставщиков металлов целесообразно широкое использование полимерных композиционных материалов в рамках импортозамещения или сокращения транспортных затрат.

Стеклонить и стеклоткань успешно производится в Беларуси в ОАО «Полоцк-стекловолокно». Имеют низкую цену – стеклоткань ИПС-Т-1000 стоит $1,5р./м^2$. Один килограмм конструкции из стеклопластика приблизительно в 1,5-2 раза дешевле 1кг стального металлопроката. По прочностным характеристикам стеклопластика и низкоуглеродистые стали, как указывалось выше, близки.

В рамках дипломного проектирования в Белорусско-Российском университете г. Могилев было проведено технико-экономическое обоснование инвестиционного проекта по освоению производства новой продукции – железнодорожных цистерн из стеклопластиков на СЗАО «Могилевский вагоностроительный завод».

В качестве композиционного материала для цистерн был выбран стеклопластик поскольку он самый дешевый из освоенных серийно КМ, кроме того стеклонить и эпоксидные связующие выпускаются в Республики Беларусь в больших объемах. По своим прочностным свойствам стеклопластики не уступают прокату из низколегированных сталей, из которых изготавливают железнодорожные цистерны по традиционным технологиям. Вместе с тем они в 3,9 раза легче стальных сплавов, что позволит повысить полезную загрузку транспортных средств и снизить весовую нагрузку на ходовую часть. Это в свою очередь обеспечит увеличение ресурса, снизит эксплуатационные затраты.

В связи с тем, что стеклопластики являются химически нейтральными материалами, повысится срок эксплуатации цистерн в случае перевозки химически агрессивных жидкостей: кислот, щелочей, жидких удобрений и др.

Исходя из анализа экономического состояния предприятия, было установлено, что оно нуждается в финансовом оздоровлении. Основной причиной этого является низкая конкурентоспособность выпускаемой продукции – товарных вагонов и вагонов типа хоппер. Значительная часть исходного металлопроката и часть комплектующих приобретаются за пределами республики, что приводит к повышенным затратам. Вместе с тем Республика Беларусь нуждается в железнодорожных цистернах, которые на своей территории не производятся. В рамках диверсификации продукции, повышения гибкости ее сбыта весь привлекательным является организация производства на СЗАО «Могилевский вагоностроительный завод» производства цистерн из КМ.

Была изучена и обоснована целесообразность освоения производства цистерн железнодорожных, изготовленных из стеклопластиков методом спиральной намотки. Все исходные компоненты для производства указанной продукции – стеклонити и эпоксидные связующие производятся в Республике Беларусь. Это позволяет отказаться от импорта указанной продукции.

Для организации производства нового вида продукции из стеклопластиков требуется закупка станков с ЧПУ.

Цистерны по конфигурации являются телами вращения. Для изготовления изделий такого типа наиболее эффективной является технология спиральной намотки. В настоящее время выпускается широкая номенклатура станков намоточных с ЧПУ для изготовления подобных изделий. Следует отметить, что производство цистерн имеет свои особенности:

- это крупногабаритные изделия, требующие крупногабаритных станков;
- для спиральной намотки изделий необходима специальная технологическая оснастка – оправки больших размеров;
- станки для намотки крупногабаритных изделий должны обеспечить намотку препрегами для экологичности производства.

В результате проведенных маркетинговых исследований были выявлены наиболее перспективные станки для намотки железнодорожных цистерн. В табл. 1 приведены станки и их некоторые характеристики.

Таблица 1

Наименования станков

Название станка	Установка Ultra-winder	HTW – 2	FWWS – 4000
Страна производитель	Россия	Китай	Китай
Стоимость	30 000 \$	25 000 \$	24 000 \$
Скорость вращения вала	35 об/мин	33 об/мин	34 об/мин
Производственные мощности	1300 кг/ч	1200 кг/ч	1240 кг/ч
Общая установленная мощность	13 кВт/ч	12 кВт/ч	12,5 кВт/ч

Для выявления наиболее перспективного станка была проведена комплексная оценка технического уровня указанного оборудования. При этом было установлено, что технический уровень всех

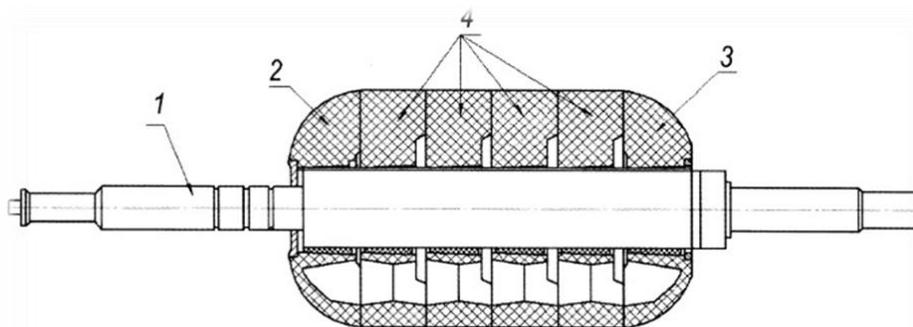
выявленных станков близок и отличается в пределах четырех процентов. С учетом этого и наличия Союзного государства Россия – Беларусь, обеспечивающего определенные преференции при со-

трудничестве, в качестве основного для технико-экономического обоснования развертывания нового производства был выбран станок Ultra-winder производства Российской Федерации.

Дополнительным аргументом в пользу указанного выбора был учтен тот факт, что для намотки цистерн можно использовать одноразовые растворимые песчано-полимерные оправки, технология производства которых разработана и освоена в России взамен гипсово-веревочных.

На рис. 1 представлена схема такой оправки.

На металлический вал 1, устанавливаются заранее изготовленные песчано-полимерные блоки 2,3,4. Блоки прессуются из песчано-полимерной смеси в металлических формах. На поверхность оправки на станке наматывается КМ, который затем полимеризуется при температуре 130°С. После изготовления изделия оправка удаляется путем растворения водой.



Фиг. 1

Рис. 1.

Из готовой цистерны через полюсные отверстия извлекается вал 1. После этого отверстия заглушаются специальными лючками.

Для анализа эффективности внедрения в производство нового вида продукции из КМ необходимо учитывать не только связанные с приобретением оборудования и сопутствующие этому затраты, но и затраты на разработку и изготовление специ-

альной оснастки и термических камер для полимеризации изготовленной продукции.

Проведенным технико-экономическим обоснованием установлено, что при освоении в производстве нового вида продукции – цистерн из стеклопластика на СЗАО «Могилевский вагоностроительный завод», срок окупаемости инвестиций не превысит 24 месяца.

Литература

1. *Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. пособие. изд. 3-е испр. / под ред. А.А. Берлина. Санкт-Петербург: ЦОП «Профессия», 2011. 560 с.*
2. *Токменинов К.А. Перспективы освоения полимерных композиционных материалов в Республике Беларусь // Вестник Белорусско-Российского университета. Могилев: БРУ, 2018. №2. С. 65 – 72.*

References

1. *Polimernye kompozicionnye materialy: struktura, svojstva, tekhnologiya: ucheb. posobie. izd. 3-e ispr. / pod red. A.A. Berlina. Sankt-Peterburg: COP «Professiya», 2011. 560 s.*
2. *Tokmeninov K.A. Perspektivy osvoeniya polimernyh kompozicionnyh materialov v Respublike Belarus' // Vestnik Belorussko-Rossijskogo universiteta. Mogilev: BRU, 2018. №2. S. 65 – 72.*

THE EFFECTIVENESS OF THE DEVELOPMENT OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS IN INDUSTRY

*Tokmeninov K.A., Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Associate Professor,
Belarusian-Russian University*

Abstract: the questions of efficiency of development of polymeric composite materials (CM) in industry are considered. The composition, structure, technical and economic characteristics and the main technologies of production of products from CM are presented. The main advantages of CM products over products made of traditional structural materials are substantiated. A brief historical review of the stages of creation and improvement of polymer composite materials is presented. The results of the feasibility study of the effectiveness of the introduction of CM in production on the example of JSC "Mogilev car building plant", the main characteristics of the equipment for the manufacture of railway tanks made of fiberglass at the enterprise are given.

Keywords: polymer composite materials, manufacturing technology