

УДК 669.018

К. А. Токменинов

ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

UDC 669.018

К. А. Tokmeninov

PROSPECTS FOR DEVELOPMENT OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS IN THE REPUBLIC OF BELARUS

Аннотация

Рассмотрены вопросы эффективности освоения широкой номенклатуры продукции из полимерных композиционных материалов (КМ) в рамках импортозамещения в Республике Беларусь. Даны основные технологии изготовления изделий из КМ – спиральная намотка и вакуумное прессование, обоснованы преимущества изделий из КМ по сравнению с изделиями из традиционных конструкционных металлических сплавов. Отражены области эффективного применения полимерных композиционных материалов. Приведены основные технико-экономические показатели изделий из КМ, а также результаты технико-экономического обоснования эффективности внедрения КМ в производство на примере СЗАО «Могилевский вагоностроительный завод».

Ключевые слова:

полимерные композиционные материалы, технология спиральной намотки, станок намоточный, компоненты материала.

Abstract

The issues of efficiency of developing a wide range of products from polymer composite materials (CM) within the framework of import substitution in the Republic of Belarus are considered. The basic technologies of manufacturing products from CM are given, such as spiral winding and vacuum pressing, and the advantages of products from CM are proved in comparison with the products made from traditional structural metal alloys. The main areas of the effective use of polymer composite materials as well as the major technical and economic parameters of products from CM are presented. The results of the feasibility study of the effectiveness of introducing CM into production are shown based on the example of CJSC Mogilev Carriage Works.

Key words:

polymer composite materials, spiral winding technology, winding machine, material components.

Перспективным направлением развития техники и технологий во всем мире является замена классических конструкционных металлических сплавов на полимерные композиционные материалы (КМ). Республика Беларусь также не стала исключением.

В Беларуси хорошо развита химическая промышленность, на базе которой можно производить исходные компоненты для КМ и изделия из них, что в рамках импортозамещения позволяет

заменять дорогостоящие конструкции из металлических сплавов на изделия из армированных пластиков.

Исходными для КМ компонентами, освоенными промышленно в Беларуси и других странах, являются высокопрочные нити: стеклонити, углеродные и арамидные нити, носящие название СВМ, ткани из них и полимерные смолы, прежде всего эпоксидные горячего отверждения.



Современные полимерные КМ состоят на 70 % из высокопрочных нитей или тканей, армирующей основы и на 30 % из полимерной матрицы, которая называется также связующим материалом. В качестве связующего чаще всего используются эпоксидные или полиимидные смолы с отвердителем [1].

История освоения КМ в СССР началась в 70-е гг. XX столетия в военно-промышленном комплексе в связи с развитием ракетной техники, заменой алюминиевых сплавов на более легкие, прочные, технологичные полимерные КМ. Из них изготавливались, в первую очередь, корпуса верхних ступеней ракет взамен алюминиевых сплавов и корпуса ракетных двигателей твердого топлива (РДТТ). Ряд ведущих организаций СССР занимались вопросами изготовления изделий из КМ, в частности, заводы в г. Дзержинском и г. Хатьково Московской области, фирма С. П. Королева. В 70-е гг. стеклопластики начинают вытесняться более прогрессивными КМ – органопластиками. В качестве армирующей основы они содержат высокопрочную нить СВМ или ткань ТСВМ/Дж. Немного позже появляется еще один класс КМ – углепластики.

Основные преимущества и перспективность применения КМ:

- высокая прочность (на уровне углеродистой стали до 100 кг/мм^2), низкая плотность $1,3...2 \text{ г/см}^3$, что легче стали в 4...6 раз;

- высокая химическая стойкость к кислотам, солям, щелочам;

- стабильность свойств во времени;

- конкурентоспособная с металлами цена за единицу веса при значительно меньшей плотности;

- высокая технологичность, практически безотходные технологии.

Указанные свойства позволяют:

- снизить производственную себестоимость;

- повысить полезный груз на транспорте за счет меньшего веса

конструкции;

- увеличить срок службы из-за отсутствия коррозии и окисления, химической нейтральности композиционных материалов;

- исключить затраты на окраску благодаря объемному окрашиванию смолы до изготовления изделия и т. д.

Стеклонить и стеклоткань успешно производятся в Беларуси в ОАО «Полоцк-стекловолокно». Имеют низкую цену – стеклоткань ИПС-Т-1000 стоит $1,5 \text{ р./м}^2$. Один килограмм конструкции из стеклопластика приблизительно в 1,5...2 раза дешевле 1 кг стального металлопроката. По прочностным характеристикам стеклопластики и низкоуглеродистые стали близки. Плотность материала изделия из стеклопластика составляет 2 г/см^3 , что в 3,9 раза меньше, чем у стали. Прочность – 300 МПа.

Следует отметить, что на ОАО «Полоцк-стекловолокно» недавно освоено производство перспективного базальтового волокна. Предприятие поставляет продукцию на внутренний рынок и экспортирует в 50 стран.

Углеродная нить и углеродная ткань марки «Урал» также выпускаются в Беларуси на ОАО «Химволокно» (г. Светлогорск, Гомельская обл.). Цена составляет в среднем 48 р./м^2 . Углепластики, полученные на основе углеродных армирующих материалов, обладают низкой плотностью, в 2 раза легче алюминия, высокой прочностью – на уровне углеродистых сталей, высокой жесткостью.

На указанном предприятии освоено производство комбинированных стеклоуглеродных тканей. Варьируя соотношением компонентов в широком диапазоне, меняется плотность и прочность готовых изделий из КМ: от $1,5$ до 2 г/см^3 и от 300 до 900 МПа соответственно.

В Республике Беларусь наблюдается постоянный рост цен на прокат черных металлов.

Следует отметить, что в настоящее



время полимерные композиционные материалы во всем мире стремительно внедряются в различных отраслях техники. Из них изготавливаются самые разнообразные изделия. Они находят широкое применение в авиастроении, начиная с малогабаритной беспилотной авиации и заканчивая крупногабаритными пассажирскими авиалайнерами, в автомобилестроении, при производстве автомобильных и железнодорожных цистерн, в судостроении, в строительной отрасли, приборостроении, сфере возобновляемой энергии, при производстве спортивного инвентаря и т. д.

Особенностью проектирования и производства изделий из КМ является то, что формирование изделия и материала конструкции осуществляется одновременно. Процесс проектирования не разделяется на конструкторскую и технологическую части. Схема армирования изделия должна осуществляться по направлениям силовых потоков под действием эксплуатационных нагрузок. Наибольшие прочностные характеристики композиционного материала реализуются вдоль направления армирования. В свою очередь программа намотки изделия на станке с ЧПУ разрабатывается исходя из рассчитанной схемы армирования [2]. Силовые потоки определяются в результате расчета на прочность создаваемого изделия. Следует также отметить, что в программе намотки изделия на станке с ЧПУ направления армирования должны совпадать с линиями большого круга. В противном случае из-за натяжения армирующей ленты при намотке произойдет ее сползание с оправки.

Наибольшее распространение в настоящее время получили технологии мокрой и сухой спиральной намотки. Эти технологии отличаются тем, что при мокрой намотке пропитка армирующей основы производится прямо на намоточном станке в процессе изготовления изделия. Сухая намотка осуществляется препрегом – предваритель-

но изготовленной лентой из армирующего материала с пропиткой. Этот способ более экологичен, чем мокрая намотка, однако требует дополнительных затрат на приобретение и монтаж специального оборудования для изготовления препрегов.

Для пропитки армирующей основы используется связующее горячего отверждения, которое полимеризуется только при температуре 120...130 °С. Тем самым снимаются ограничения по длительности процесса намотки.

Технология спиральной намотки и производственные затраты в значительной степени определяются использованием одноразовых или многоразовых оправок, которые служат основой для наматываемого композита и задают конфигурацию изделия.

Оправки могут быть одноразовые или многоразовые. Одноразовые оправки изготавливались длительное время путем намотки на металлический вал веревки с приданием формы, близкой по конфигурации к требуемому изделию, с последующей заливкой поверхности гипсом. После застывания гипса осуществлялось протачивание гипсовой поверхности в размеры изделия на станках токарной группы. В настоящее время указанная технология применяется реже. Основным видом одноразовых оправок стали песчано-полимерные. Процесс изготовления включает в себя формирование песчаных элементов с последующей их фиксацией на металлическом валу. Затем проводится механическая обработка контура оправки для получения необходимого профиля.

На рис. 1 и 2 представлена конструктивная схема разрушаемой оправки: 1 – металлический вал; 2 – песчаный элемент днища; 3 – цилиндрический песчаный элемент; 4 – песчаный элемент днища. Состав песчано-полимерной смеси подобран таким, что обеспечивается его растворение в воде. Для извлечения оправок проводят их разру-



шение внутри намотанного и прошедшего полимеризацию изделия с помощью вымывания. Песчано-полимерная оправка обеспечивает выполнение требований конструкторской документации. К недостаткам таких оправок можно отнести то, что разрушаемые оправ-

ки являются одноразовыми, исключая вал, на котором они собираются, т. е. перед изготовлением каждого корпуса необходимо изготовить разовую оправку, что существенно удлиняет производственный цикл изготовления изделий.

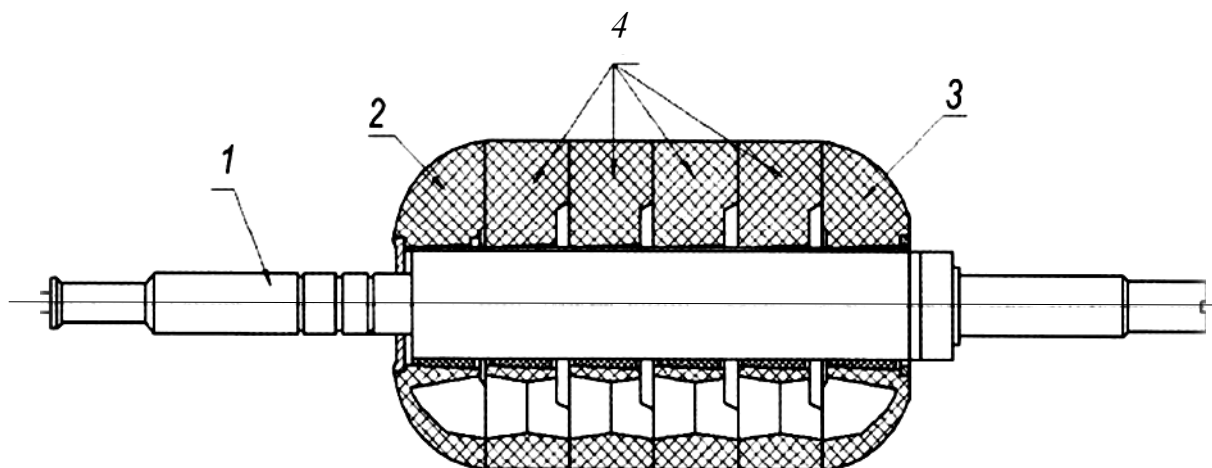


Рис. 1. Одноразовая песчано-полимерная оправка

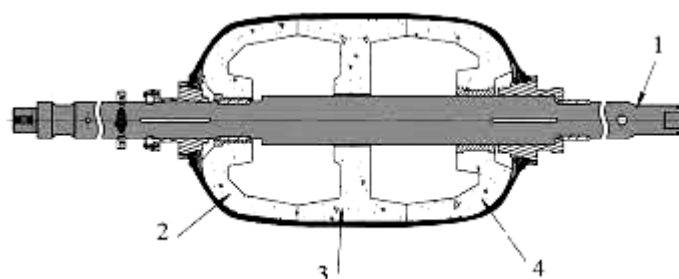


Рис. 2. Одноразовая песчано-полимерная оправка

При использовании многоразовых металлических оправок снижается производственный цикл изготовления изделия. Срок службы таких оправок практически не ограничен. Выбор материала оправок определяется размером изделий, требованиями к точности их изготовления и масштабом производства, как правило, оправки изготавливаются из стали и алюминиевого сплава.

Металлическая оправка чаще всего является разборной для извлечения ее после отверждения изделия. Один из

конструктивных вариантов разборной оправки приведен на рис. 3. Он представляет собой конструкцию, каждый элемент которой крепится к несущему валу. Размеры отдельных секций и их количество определяются диаметром максимального полюсного отверстия изделия. Данная конструкция позволяет после проведения режима полимеризации изделия извлечь через полюсные отверстия элементы оправки из корпуса посредством последовательной разборки: вала 1, гаек 4 и 5, втулок 3 и секций 2.



Такая конструктивная схема оправки дает возможность изготавливать крупногабаритные корпуса. Оправка может использоваться при большом количе-

стве циклов производства. При этом обеспечивается высокая стабильность воспроизведения геометрических параметров изделия.

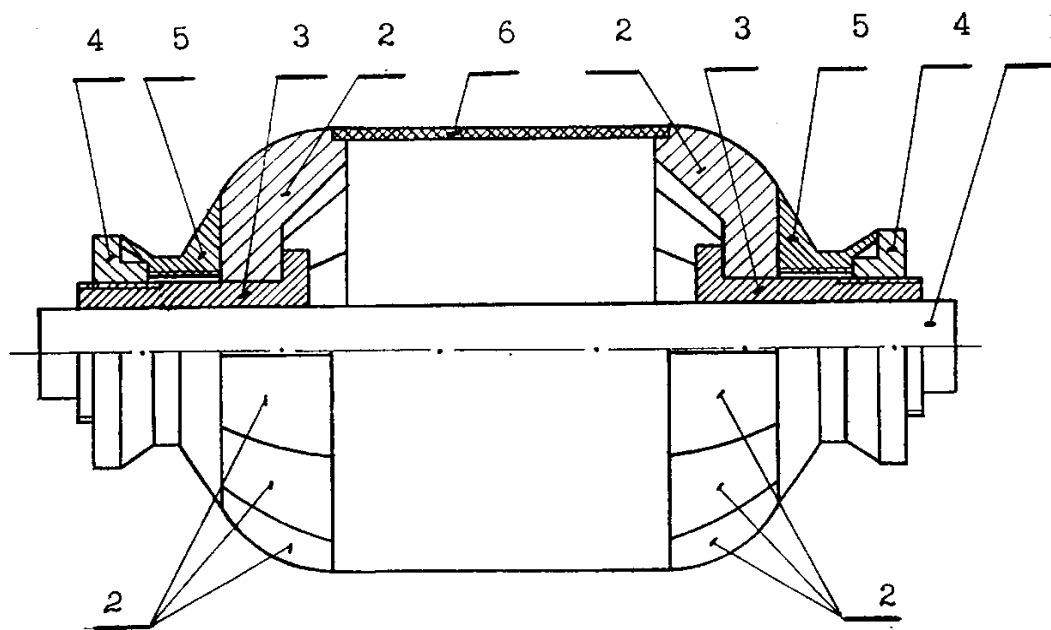


Рис. 3. Многозловая разборная металлическая оправка

К недостаткам указанной разборной металлической оправки следует отнести наличие достаточно больших полюсных отверстий, которые в дальнейшем придется заглушать, что приведет к росту производственных затрат. Для того чтобы заглушить полюсные отверстия, можно воспользоваться способом заклейки их на готовом изделии при небольших эксплуатационных нагрузках. При высоких эксплуатационных нагрузках осуществляется замотка в процессе изготовления изделия из КМ металлических фланцевых элементов. После извлечения вала полюсные отверстия заглушаются металлическими лючками на болтах.

В настоящее время китайские производители оборудования для изготовления продукции из полимерных композиционных материалов типа «кокон» предлагают оправки с одним открытым торцем для ее извлечения из готового изделия после полимеризации. При этом

в сферической части изделия отсутствует полюсное отверстие. Второе сферическое днище с цилиндрической частью формируется аналогично на этой же оправке. Затем наружные поверхности двух готовых изделий вблизи торцев обрабатываются в размер на расчетную длину и соединяются с помощью цилиндрической муфты из стеклопластика посредством эпоксидного связующего холодного отверждения.

Установлено, что рациональней при серийном производстве применять разборную металлическую оправку, а при единичном и мелкосерийном – разрушаемую одноразовую.

Стоимость одноразовой оправки ниже, чем разборной металлической. Вместе с тем срок хранения разрушаемой одноразовой оправки ограничен, что является технологическим условием.

В каждом конкретном инвестиционном проекте для выбора способа изготовления необходимо осуществлять

техничко-экономическое сравнение вариантов с выбором оптимального.

Стоимость современных полимерных композиционных материалов определяется, прежде всего, стоимостью армирующего материала, которого в составе изделий около 70 % объемных. Как указывалось ранее, наиболее дешевыми являются стеклонити и стеклоткани и, следовательно, получаемые из них стеклопластики. Однако они имеют меньшую прочность и жесткость, примерно в 3 раза, по сравнению с углепластиковыми и органопластиковыми. Кроме того, плотность стеклопластиков в 1,4 раза больше.

При выборе композиционного материала для каждого конкретного изделия необходимо учитывать ряд факторов: ожидаемую себестоимость и конкурентоспособность по сравнению с традиционными конструкционными материалами, эксплуатационные характеристики, класс изделия и т. д. Для изделий общего машиностроения могут широко применяться стеклопластики.

В качестве объектов для исследования эффективности организации производства инновационной продукции из композиционных материалов стеклопластиков в г. Могилеве рассматривались несколько предприятий, в частности, ОАО «Ольса», ОАО «Могилёв-лифтмаш», «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ» – «Могилевский автомобильный завод имени С. М. Кирова».

На первом этапе наиболее перспективным и эффективным в части освоения инновационной продукции из стеклопластиков представляется СЗАО «Могилевский вагоностроительный завод».

В настоящее время предприятие имеет проблемы со сбытом выпускаемой продукции, вызванные ее недостаточной конкурентоспособностью по сравнению с российскими производителями. Одной из основных причин высокой себестоимости продукции являются высокие цены на металл. В связи с этим

актуальным представляется вопрос освоения новых видов продукции с заменой традиционных черных конструкционных металлов на стеклопластики.

В рамках диверсификации продукции целесообразно рассмотреть перспективность освоения производства железнодорожных цистерн из КМ.

Данный вид продукции в Республике Беларусь не производится, а закупается за рубежом. Освоив производство цистерн из отечественного сырья на СЗАО «Могилевский вагоностроительный завод», может быть получен хороший экономический эффект для республики в целом.

Но освоение нового вида продукции с организацией производства требует обоснования эффективности инвестиционного проекта.

Данное исследование направлено на внедрение композиционных материалов в качестве замены используемого металлопроката и, как следствие, снижение себестоимости выпускаемой продукции, ее конкурентоспособности и повышение эксплуатационных характеристик.

Проведено предварительное технико-экономическое обоснование освоения нового вида продукции. В качестве основной технологии изготовления подобных изделий принята спиральная намотка на станках с числовым программным обеспечением.

Следует отметить, что в Российской Федерации этот вид продукции недавно успешно освоен на заводе «Уралкриомаш».

В процессе маркетинговых исследований были выбраны аналоги оборудования для производства цистерн из стеклопластиков: китайские и российские станки.

Для окончательного выбора станка была проведена комплексная оценка технико-экономического уровня выявленных аналогов с использованием комплексных критериев сравнения технического уровня выбранных станков.



В результате было установлено, что наиболее оптимальным решением является выбор станка китайского производителя – станка модели FWWS-4000.

Важным фактором является также то, что настоящее время китайские производители готовы осуществлять полностью комплектную поставку оборудования для сухой или мокрой спиральной намотки, включая станки с ЧПУ, многоразовые металлические оправки для намотки изделий, емкости со смесителями для приготовления связующего.

Кроме того, следует учитывать тот

факт, что, как правило, китайская сторона готова предоставлять связанные кредиты на льготных условиях. Для предприятий, имеющих экономические проблемы, это также является стимулирующим фактором.

Проведенные предварительные расчеты показывают хорошую перспективность инновационного проекта.

На рис. 4 представлена цистерна из стеклопластика предприятия «Уралкриомаш».



Рис. 4. Цистерна железнодорожная завода «Уралкриомаш»

Технико-экономическое обоснование инвестиционного проекта показало, что при внедрении в производство цистерн из стеклопластика производственные затраты снижаются приблизительно в 3 раза.

Простой срок окупаемости инвестиций составит около 16 месяцев, дисконтированный – 24 месяца.

Станки для производства продук-

ции из КМ методом спиральной намотки и прессованием изготавливаются серийно.

Многообразие тканей и лент и изготавливаемых из них КМ позволяет получать изделия с широким диапазоном эксплуатационных, прочностных и стоимостных свойств.

Стоит также отметить, что предлагаемый к использованию в качестве ма-



териала корпуса железнодорожной цистерны стеклопластик хорошо обрабатывается резанием с применением традиционного режущего инструмента, что делает весь процесс производства весьма технологичным.

Технология спиральной намотки изделий из композиционных материалов находит широкое применение для производства изделий, близких по конфигурации к телам вращения, например, емкости для жидких веществ, трубы различного сечения, в том числе прямоугольные, корпуса яхт и др. Два корпуса могут быть получены после продольной разрезки готового кокона.

Широкое применение находит и технология получения плоских и фигурных панелей из КМ методом вакуумного прессования. Оборудование для указанной технологии также серийно производится. Однако следует учитывать, что это достаточно дорогое оборудование и в каждом конкретном случае требуется технико-экономическое обоснование и разработка бизнес-плана его закупки и

внедрения для подтверждения эффективности инновационного проекта.

Выводы

Наличие апробированных технологий изготовления изделий из КМ, исходных материалов, производимых отечественными предприятиями, необходимого оборудования делает весьма перспективным освоение и внедрение в производство продукции из полимерных композиционных материалов в Республике Беларусь.

Следует отметить, что изделия из КМ будут обладать более высокой конкурентоспособностью по сравнению с аналогичными, изготовленными из металлов, т. к. имеют более низкую стоимость и меньший вес при равных либо более высоких эксплуатационных характеристиках.

Важным является также отказ от импорта металлов для производства продукции в Республике Беларусь.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология : учебное пособие / Под ред. А. А. Берлина. – 3-е изд., испр. – Санкт-Петербург : Профессия, 2011. – 560 с.
2. **Баженов, С. Л.** Полимерные композиционные материалы / С. Л. Баженов, А. А. Берлин, А. А. Кульков. – Санкт-Петербург : Интеллект, 2010. – 352 с.

Статья сдана в редакцию 28 февраля 2018 года

Константин Александрович Токменинов, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет.
E-mail: KTokmeninov@gmail.com.

Konstantin Alexandrovich Tokmeninov, PhD (Engineering) Associate Prof., Belarusian-Russian University.
E-mail: KTokmeninov@gmail.com.

