

ОТЗЫВ

ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Евдокимова Антона Андреевича

«Полимерный композиционный материал, изготавливаемый по технологии вакуумной инфузии с формообразованием при температурах до 40°C», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.17.06 – «Технология и переработка полимеров и композитов»

Актуальность диссертационной работы

В настоящее время полимерные композиционные материалы (ПКМ) используются при создании изделий, как для оборонной, так и гражданской направленности. Изделия из ПКМ применяются в авиации, судостроении, строительстве, транспорте и других отраслях промышленности. Для переработки ПКМ в настоящее время используются такие технологии как пултрузия, намотка («сухая» и «мокрая»), прессование, автоклавное формование и другие. Изготовление конструкций этими методами производится на стационарной производственной площадке с применением специализированного оборудования. В диссертационной работе предложено совмещение нескольких технологий изготовления изделий из ПКМ – радиального плетения при изготовлении плетёной преформы, используемой в качестве наполнителя и являющейся разновидностью технологии «сухой» намотки и вакуумной инфузии, используемой непосредственно для изготовления конструкций из ПКМ. Преимуществом предложенной технологии является возможность организации мобильного производства, то есть возможность изготовления крупногабаритных изделий в «полевых» условиях. При таком подходе отсутствует необходимость строительства стационарной производственной площадки.

Поставленная автором задача по разработке композиционного материала и способа его переработки по технологии вакуумной инфузии при температурах формования не выше 40°C для применения при строительстве быстро возводимых сооружений представляет большой интерес для

авиационно-космической и гражданской отраслей промышленности. Предложенная технология ранее не применялась для изготовления крупногабаритных изделий из ПКМ в РФ, в связи с чем, данная работа является актуальной и востребованной.

Научная новизна диссертации

В диссертационной работе Евдокимова А.А. экспериментально определены оптимальный температурный интервал переработки эпоксивинилэфирного связующего по технологии вакуумной и оптимальный режим отверждения связующего, позволяющие достигать максимальных характеристик при формовании ПКМ в «полевых» условиях.

Автором проведено подтверждено, что структура армирования углепластика под углом 30° к оси арочного элемента является оптимальной для изготовления крупногабаритных полых арочных конструкций по технологии вакуумной инфузии в «полевых» условиях и позволяет обеспечить увеличение прочности несущей конструкции.

Показано, что сочетание эпоксивинилэфирного связующего с формообразованием при температурах от 20°C до 40°C и технологии вакуумной инфузии позволяет изготавливать несущие конструкции в «полевых» условиях без применения крупногабаритного оборудования.

Практическая значимость полученных результатов работы

Автором разработаны и подтверждены на практике технологии, позволяющие изготавливать углепластик ВКУ-51 и крупногабаритный арочный элемент из него на нестационарной мобильной производственной площадке. Таким образом, подтверждена возможность изготовления ответственных изделий из ПКМ в «полевых» условиях сопоставимых по прочностным характеристикам с изделиями из ПКМ, изготовленными на стационарном производстве.

Достоверность полученных результатов исследования подтверждается использованием стандартизованных методов испытаний, метрологически аттестованного, поверенного современного оборудования, всесторонними исследованиями большого количества образцов и

статистической обработкой значительного объема экспериментальных данных.

Результаты исследования свойств углепластика ВКУ-51, приведенные в диссертации, не противоречат данным, опубликованным в открытой печати.

Структура и содержание работы

Представленная на отзыв диссертация состоит из введения, семи глав, выводов, списка использованной литературы из 105 наименований, содержит 58 рисунков и 43 таблицы. Общий объем диссертации 116 страниц машинописного текста.

Во введении автор обосновал актуальность темы диссертационной работы, сформулировал ее цель и задачи, научную новизну и практическую значимость, представил основные достигнутые результаты и положения, выносимые на защиту.

Литературный обзор (**первая глава**) позволяет оценить современные способы формования изделий из ПКМ, которые можно использовать для изготовления изделий при мобильном производстве и обосновано использование метода вакуумной инфузии как наиболее подходящего для этого. Также обосновано использование эпоксивинилэфирного связующего для изготовления изделий, ввиду его наилучшей стойкости к воздействию факторов внешней среды и необходимым уровнем физико-механических характеристик.

Во второй главе дано описание использованных материалов для изготовления ПКМ, приведены оборудование и методики исследования. Выбранные автором методы и используемое оборудование свидетельствуют о высоком уровне исследований и надежности получаемых данных.

В третьей главе представлены результаты исследований температурно-временных зависимостей формообразования и отверждения эпоксивинилэфирного связующего ВСВ-43, выбранного в качестве объекта исследования. Определен оптимальный температурный интервал переработки связующего - $20\div 25^{\circ}\text{C}$ и наилучший режим отверждения связующего: 20°C — 24 ч.; $+80^{\circ}\text{C}$ — 4 ч. Кроме этого в третьей главе в результате исследования влияния эксплуатационных факторов на свойства

отвержденного связующего установлено, что сохранение упруго-прочностных характеристик составляет от 80 до 96% в зависимости от вида и температуры испытаний.

В четвертой главе приводятся результаты исследований, направленных на выбор оптимального типа наполнителя для изготовления ПКМ и конструкционного элемента из него, изготовленного методом радиального плетения. Математически рассчитано, что использование при изготовлении преформы углеродных жгутов торговой марки Zoltek номиналом 48K, расположенных под углом 30° к оси направления плетения, позволяет получать ПКМ с наилучшими упруго-прочностными характеристиками. Изготовление преформы осуществлялось на машине Herzog RF 1-144-120.

Пятая глава состоит из четырех разделов, в первом из которых описана технология изготовления углепластика марки ВКУ-51 на основе эпоксивинилэфирного связующего и плетеной преформы способом. Второй посвящен описанию влияния эксплуатационных факторов на физико-механические и термомеханические свойства разработанного углепластика. Установлено, что сохранение прочности образцов ПКМ составляет от 75 до 90%. Третий раздел посвящён исследованию влияния структуры армирования углепластика ВКУ-51 на его упруго-прочностные свойства при растяжении, сжатии и изгибе. Установлено, что для наилучшей работоспособности арочной конструкции, углепластик должен иметь угол ориентации армирующих волокон не более 35-40 град. В четвертом разделе представлены данные исследований влияния натурального экспонирования плит углепластика в г. Москва и г. Геленджик в течение 1, 3 и 5 лет. Установлено, что после 5 лет экспозиции в Москве и Геленджике сохранение физико-механических характеристик наблюдается на высоком уровне - 90%.

Шестая глава состоит из двух разделов. В первом разделе описывается технология изготовления крупногабаритных арочных конструкций из углепластика ВКУ-51 в «полевых условиях». Технология подразумевает изготовление на промышленном оборудовании основных компонентов: плетеной преформы необходимого размера из углеродного

жгута марки Zoltek номиналом 48К и двухкомпонентного эпоксивинилэфирного связующего ВСВ-43, доставку их на место изготовления конструкций и непосредственно изготовление конструкции. На процесс изготовления арочного полого конструктивного элемента из углепластика получен патент РФ № 2633719 «Способ изготовления полого конструктивного элемента из композиционного материала», подтверждающий новизну применяемых технологических решений. Во втором разделе приводится описание проведенных испытаний крупногабаритных арочных конструкций с бетонным сердечником, которые установили, что:

- максимальная несущая способность арочных элементов обеспечивается применением преформы с углом армирования 30° вдоль оси элемента.
- отсутствие разрушения при малоцикловом нагружении на базе 10^4 циклов амплитудой 6 т и 10 т и частотой 1 Гц;
- средняя прочность образцов при статическом нагружении составила 30,34 т. при разбросе от 27,1 до 32,5 тонн.

На основании полученных данных сделан вывод о высокой прочности арочных конструкций и их применимости в качестве несущих строительных конструкций.

Седьмая глава описывает практическую реализацию полученных в работе результатов: с целью подтверждения применимости разработанной технологии и материала для строительных объектов, в 2016 г. был построен автомобильный арочный мост с двумя полосами проезжей части и двумя тротуарами длиной 19,6 м, шириной 12 м. Мост введен в эксплуатацию в 2017 году и безаварийно эксплуатируется и в настоящее время, что подтверждает надёжность арочных конструкций.

Основные замечания и вопросы по работе:

1. В автореферате работы в практической значимости указано, что на основе результатов исследования были разработаны технические условия и технологическая инструкция на связующее ВСВ-43, при этом ни в тексте автореферата, ни в тексте диссертации каких-либо исследований по выбору состава связующего обнаружено не было.

2. На стр. 50 диссертации – «ПКМ должны обладать наилучшей укрывистостью и наименьшей стоимостью для минимизации затрат на производство ПКМ» - не понятно «наилучшей» и «наименьшей» по сравнению с чем? Кроме того, термин укрывистость означает способность пигмента или пигментированного лакокрасочного материала перекрывать цвет поверхности. В связи с чем, не корректно применять термин укрывистость для ПКМ.

3. На стр. 62 диссертационной работы описана подготовка связующего к пропитке одним из этапов которой является совмещение компонентов А и Б, при этом на стр. 28 в объектах исследования компонентный состав связующего состоит из 10 наименований.

4. На стр. 62 диссертации имеется отсылка на формулу (2) со стр. 31, с помощью которой определяется влагопоглощение, но никак не для определения соотношения компонентов А и Б связующего.

5. В работе не исследована возможность использования углеродных преформ с разной укладкой слоёв в них. Изменение схемы армирования арочной конструкции позволило бы увеличить прочность конструкции в поперечном направлении при сохранении прочности в осевом.

6. Не приведено объяснений, почему при изготовлении арочной оболочки оптимальным является диаметр 300 мм.

7. На рис. 36 значения упруго-прочностных свойств углепластика ВКУ-51 от угла армирования при 0° ниже теоретически рассчитанных по правилу «смеси». Пояснений автор не даёт.

Однако высказанные замечания ни в коей мере не снижают ценности работы Евдокимова А.А. «Полимерный композиционный материал, изготавливаемый по технологии вакуумной инфузии с формообразованием при температурах до 40°C », которая соответствует специальности 05.17.06 – «Технология и переработка полимеров и композитов» и представляет законченную научно-квалификационную работу. Автором проделан и систематизирован большой объем экспериментальных и теоретических исследований. Работа выполнена на высоком научном уровне, изложена четким языком.

По актуальности, научной новизне и практической значимости полученных результатов диссертационная работа Евдокимова А.А. «Полимерный композиционный материал, изготавливаемый по технологии вакуумной инфузии с формообразованием при температурах до 40°C» полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, согласно пунктам 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г., с изменениями по постановлению Правительства Российской Федерации №335 от 21 апреля 2016 г., а ее автор Евдокимов Антон Андреевич заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.06 – «Технология и переработка полимеров и композитов».

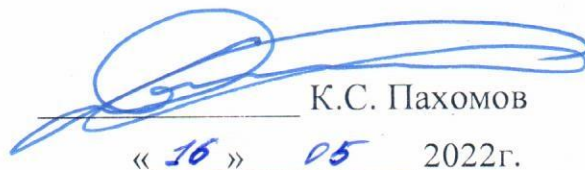
Официальный оппонент

Начальник отдела

конструкционных композиционных

материалов

АО «ЦНИИСМ», к.т.н.


К.С. Пахомов
« 16 » 05 2022г.

Подпись к.т.н. Пахомова Кирилла Сергеевича заверяю

Секретарь научно-технического Совета АО «ЦНИИСМ»


Г.В. Краснова
« 16 » 05 2022г.



АО «Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения»:
141371, Московская область,
г. Хотьково, ул. Заводская, АО «ЦНИИСМ»
Телефон: 8 (495) 993-00-11,
Факс: 8 (496) 543-82-94,
e-mail: tsniism@tsniism.ru