

О Т З Ы В

официального оппонента Шерышева Михаила Анатольевича, доктора технических наук, профессора кафедры Инженерное проектирование технологического оборудования федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева» на диссертационную работу Нелюба Владимира Александровича на тему «Многофункциональные полимерные композиты на основе металлизированных углеродных волокнистых материалов», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.17.06 – «Технология и переработка полимеров и композитов»

Актуальность выбранной темы

Развитие наукоемких отраслей промышленности требует постоянного совершенствования существующих и создания новых полимерных композиционных материалов. Это является особенно актуальным ввиду реализации политики импортозамещения. Основным методом по усовершенствованию существующих полимерных композиционных материалов (ПКМ) может быть введение в их состав различных добавок, которыми, как правило, модифицируют связующее. В качестве таких добавок широкое распространение получили различные наноразмерные материалы, в том числе углеродные нанотрубки, монтмориллонит и др. В то же время, в условиях массового производства изделий из композитов, подбор и оптимизация соответствующих добавок является затратной и экономически не эффективной. Однако, даже в случае успешного решения задач, связанных с выбором модифицирующих добавок, огромное влияние на качество изделий из ПКМ оказывает технология их формирования, для которой, не менее актуальной, является проблема создания эффективных технологических решений. Проблема обеспечения качества композитных конструкций за счет разработки эффективных технологических процессов относится к межотраслевым, и имеет большое хозяйственное значение. Многообразие уже существующих типов связующих и армирующих наполнителей делают проблему эффективного управления свойствами ПКМ очень актуальной и важной для различных отраслей промышленности.

Основным направлением решения поставленной проблемы в данной работе, является нанесение на армирующие волокнистые материалы металлических покрытий заданной химической природы и толщины, а также разработка технологий получения из них ПКМ при использовании в качестве связующих не только органических, но и неорганических материалов. Затем, используя разработанные материалы и технологии, диссертант получает ПКМ с комплексом уникальных характеристик.

Таким образом, можно считать, что диссертационная работа В.А. Нелюба является программой исследований, связанных с разработкой новых ПКМ. В этом ее актуальность.

Новизна, значимость и достоверность научных положений и выводов

Научная новизна состоит из следующих положений.

1. Разработаны математические модели, позволяющие оценить напряженно-деформированное состояние в зависимости от условий нагружения и структуры ПКМ. Кроме того предложены результаты моделирования тепловых нагрузок, возникающих в процессе создания преформ по технологии сварки или пайки, а также в процессе отверждения ПКМ, что позволило оптимизировать технологические режимы.

2. Разработана методика определения модулей адгезионной связи системы «элементарное углеродное волокно с металлическим покрытием – полимерная матрица». Это позволило разработать математические модели позволяющие определять характеристики ПКМ с учетом вклада адгезионного взаимодействия на границе раздела фаз.

3. Разработаны модели, позволяющие учесть комплекс факторов технологической наследственности, и предложена концепция построения операций технологического процесса формования с учетом их минимизации.

4. Разработана методика технологического обеспечения качества углеродных волокнистых материалов с металлическим покрытием заданной толщины и состава. Это позволило автору создать экономически эффективный способ управления свойствами ПКМ.

Практическая значимость работы заключается в разработке комплексных конструкторско-технологических решений, что позволило докторанту внедрить результаты своей работы на ведущих предприятиях, занимающихся серийным производством композитных конструкций:

а) АО «ЦНИИСМ» и НИИ «Графит» при создании новых конструкторско-технологических решений космического назначения;

б) АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева при разработке рефлекторов бортовых зеркальных антенн космических аппаратов связи, а также композитных панелей главного зеркала рефлектора космической обсерватории «Миллиметрон»;

в) АО Информационная внедренческая компания («ИВК») при создании корпусов СВТ, защищенных от прохождения электромагнитных волн.

Содержание работы и анализ ее завершенности

Диссертационная работа Нелюба В.А. является цельным, логическим и завершенным исследованием. Автор убедительно показал возможности сочетания процесса широкого спектра ПКМ, изделий на их основе и их практическое применение. Научные положения и заключение хорошо обоснованы, логично вытекают из материала диссертации.

Работа построена по традиционной форме и включает в себя введение, шесть глав, основные выводы и результаты, список использованной литературы и приложения. Диссертация изложена на 310 страницах, включает 105 рисунков, 66 таблиц. Список литературы содержит 346 наименований. В приложении приведены акты о внедрении научных разработок.

Полученные диссидентом результаты являются оригинальными, ранее не решенными в исследовании проблемы создания ПКМ на основе металлизированных углеродных волокнистых материалов.

Автореферат в полной мере раскрывает содержание работы и соответствует основным положениям диссертации. При этом излагает суть проведенных исследований, научную новизну и практическую значимость.

Автореферат и опубликованные статьи полностью отражают содержание диссертации.

Основные результаты представлены в 55 научных работах, из них 33 работы опубликовано в изданиях, входящих в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук и доктора наук» ВАК РФ (в том числе 18 статей входят в базу цитирований Scopus и 5 статей в базу Web of Science).

По результатам работы диссидентом получено 8 патентов на изобретения и полезные модели.

Первая глава – литературный обзор, в котором в лаконичной форме изложены основные подходы к разработке научных основ, позволяющих создать новые углеродные волокнистые материалы с металлическими нанопокрытиями на основе органических и неорганических связующих. Диссидентом рассмотрены теоретические модели, позволяющие определить свойства ПКМ и значения адгезионной прочности, а также показано, что для определения значений напряжений требуется количественно оценить характеристики межфазного слоя, однако в настоящее время отсутствуют инженерные методики их определения. Рассмотрены основные методы нанесения тонких слоев металлических покрытий на текстильные материалы и основные конструкторско-технологические решения, в том числе основные технологии формования изделий из углепластиков.

На основании изучения современной литературы сформулирована цель и научно-технические задачи исследования.

Вторая глава – характеристика объектов и методов исследования. Приведена подробная, возможно, даже излишне подробная, характеристика используемого оборудования. В качестве связующих диссидент выбрал широко распространенные материалы, однако уделил существенно меньшее внимание характеристикам их составов и свойств.

Третья глава – посвящена разработке технологий нанесения металлических покрытий на углеродные ленты. Диссидент приводит большой объем результатов экспериментальных исследований, на основе которых делает вывод об эффективности использования технологии плазменной активации в среде воздуха, который используется как плазмообразующий газ и определяет технологические режимы активации и металлизации. Большая часть этого раздела диссидентской работы посвящена исследованию комплекса свойств элементарных углеродных волокон с разными типами металлических покры-

тий, что позволило диссертанту сделать вывод о механизме пленкообразования.

В этой же главе диссертант приводит результаты оценки напряженно-деформированного состояния элементарного углеродного волокна с металлическим покрытием, определяя значения перемещений при известных величинах разрушающих нагрузок, которые получил в результате экспериментальных исследований. В результате моделирования диссертантом были установлены значения перемещений и напряжений в зависимости от толщины и тип металлического покрытия, что позволяет, при необходимости, получать аналогичные характеристики для любых типов покрытий.

Четвертая глава – посвящена анализу процессов взаимодействия связующего и металлизированного армирующего наполнителя в процессе формирования композитов.

Эту часть работы можно разделить на два раздела, один из которых посвящен ПКМ на основе органических связующих, второй – неорганических. Принципиальным отличием между этими типами связующих является отсутствие индукционного периода и нелинейное нарастание вязкости, характерное для неорганического связующего, в качестве которого диссертант использовал алюмоборфосфатное связующее. Используя в качестве критериев значения краевых углов смачивания и кинетику процесса пропитки, диссертант убедительно доказывает преимущества металлизации армирующего наполнителя. Показано влияние технологии пайки преформ на кинетику пропитки, что необходимо для реализации новых технологий формования ПКМ на основе неорганических связующих. Представляет интерес используемый диссидентом подход оценки кинетики пропитки в зависимости от структуры технологического пакета, поскольку это простой, но эффективный метод для определения коэффициентов проницаемости.

В этой же главе диссидент приводит методику определения новой характеристики ПКМ, названной им модулем адгезионной связи. Сам этот термин является дискуссионным, однако предложенная методика представляет существенную научную новизну, поскольку позволяет оценить вклад адгезионного взаимодействия на межфазной границе.

Пятая глава – посвящена разработке технологий формования ПКМ при использовании армирующих наполнителей с металлическим покрытием.

Используя характеристику «технологическая среда», на примере вакуумной инфузии, диссидент предложил эффективный метод управления качеством технологического процесса для всех технологических операций, показав, что несмотря на все сложности формализации технологических процессов, использование предложенного им метода позволяет повысить качество, что убедительно доказал результатами структурных исследований углепластиков.

В этой же части работы диссидент приводит результаты оценки напряженно-деформированного состояния ПКМ, при изготовлении которых использован армирующий наполнитель с металлическим покрытием.

Шестая глава – содержит убедительные примеры, доказывающие многофункциональность созданных в работе ПКМ.

Эта часть работы состоит из семи разделов, каждый из которых является иллюстрацией определенного функционального свойства и приводятся характеристики ПКМ, которых ранее не удавалось достигнуть иными методами. К таким новым функциональным свойствам относятся: характеристики экранирования, высокая стойкость к действию электрических разрядов, повышенные характеристики электро- и теплопроводности, высокая адгезионная прочность при минусовых температурах формования композитов и новые технологии изготовления преформ, используемых при создании термостойких композитов. В этой же части работы диссертант приводит результаты по оценке antimикробных свойств композитов и показывает, что их реализовать не удалось.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций

Диссертант выполнил достаточно большой объем работы, исследования проведены на высоком экспериментальном и теоретическом уровне, причем в каждой главе диссертант сочетает экспериментальные и теоретические исследования, проводя сравнение полученных результатов.

Работа является оригинальной и носит завершенный характер. Научные положения и выводы обоснованы и доказаны современными методами проектирования композитов.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что обоснованность и достоверность результатов, научных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы Нелюба В.А. не вызывает сомнений.

Качество оформления диссертации

Представленная на оппонирование диссертационная работа изложена технически грамотно, хорошим научным и литературным языком. По качеству оформления диссертационная работа отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук. Таблицы и рисунки логично структурированы и качественно оформлены. Названия глав и разделов передают их содержание и полностью соответствуют изложенному в них материалу.

Замечания

1. Не ясно почему, при нанесении двухслойных покрытий резко снижается механическая прочность элементарных углеродных волокон.
2. Не ясно как учитывалась анизотропия свойств композитов на основе эпоксидного связующего при моделировании температурных полей в процессе их отверждения.
3. На мой взгляд, плюсом работы было бы исследование температурных полей для иных армирующих материалов, например, стеклянных тканей, что позволило бы спрогнозировать технологические режимы формования изделий из композитов.
4. Не представлены данные о расчетах градиентов температур при использовании неорганических типов связующих, тогда как это позволило бы

диссертанту получить дополнительное подтверждение эффективности от металлизации армирующего наполнителя.

5. Не представлены данные о реохимических процессах используемых связующих, что могло бы дать дополнительные сведения о физических процессах, происходящих в полимерном материале в процессе его отверждения.

6. Оформление диссертации в принципе положительное, однако, содержит ряд незначительных ошибок и опечаток. В ряде случаев встречаются два слова без промежутка между ними. Иногда математические формулы записываются неправильно $a_{xx}(x, y) = [(2\mu^F + \lambda^F)U_{1,x} + \lambda^F V_{1,y}]h/2$ (1.21). В таком виде ее можно прочитать так: $a_{xx}(x, y) = [(2\mu^F + \lambda^F)U_{1,x} + \lambda^F V_{1,y}] \frac{h}{2}$ или так:
$$a_{xx}(x, y) = \frac{[(2\mu^F + \lambda^F)U_{1,x} + \lambda^F V_{1,y}]h}{2}$$
. На ряде фотографий хорошо виден

человек, проводящий опыт, но при этом плохо видно само изделие или сам опыт (на фотографиях 2.7, 2.13 и др.). В работе имеются незначительные опечатки: на рис. 2.11, б показан образец полимерной матрицы при определении тангенса угла механических потерь, тогда как в тексте диссертации такие характеристики отдельно для полимерной матрицы не приводятся. На рис. 4.8 и уравнение (4.17) не совсем понятно: то ли речь идет об угле α (кстати, на рис. должен быть не α_2 , а α_2), то ли о величине a – модуля на нелинейном участке? Таких примеров, к сожалению в работе достаточно.

7. Список используемой литературы содержит ограниченное количество ссылок на зарубежные источники.

В целом, сделанные замечания не снижают общего положительного впечатления о диссертационной работе, которая выполнена на высоком научном уровне, а также соответствует поставленным целям и задачам.

Соответствие диссертации требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней

В работе изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны.

Диссертация Нелюба Владимира Александровича выполненная на тему «Многофункциональные полимерные композиты на основе металлизированных углеродных волокнистых материалов» является научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная межотраслевая научная проблема создания многофункциональных ПКМ с комплексом уникальных ранее недостижимых свойств, за счет нанесения на армирующие материалы металлических покрытий заданной химической природы и толщины и разработаны эффективные технологии изготовления изделий из таких ПКМ на основе органических и неорганических матриц.

Диссертационная работа Нелюба В.А. соответствует паспорту специальности 05.17.06 – Технология и переработка полимеров и композитов (пункты 2

и 3 области исследований). По актуальности, научной новизне и практической значимости, представленная на оппонирование работа полностью отвечает требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор Нелюб Владимир Александрович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.17.06 – Технология и переработка полимеров и композитов.

Официальный оппонент, доктор технических наук (специальность 05.04.09, Машины и агрегаты нефтеперерабатывающих и химических производств), профессор кафедры инженерное проектирование технологического оборудования

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Российский химико-технологический университет им. Д.И.Менделеева»

М.А. Шерышев

«31» 08 2020 г.

Подпись профессора Шерышева М.А. удостоверяю

Ученый секретарь

РХТУ им. Д.И. Менделеева

Н. К. Каминец



Шерышев Михаил Анатольевич, доктор технических наук (специальность 05.04.09), профессор, профессор кафедры инженерное проектирование технологического оборудования Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева», 125047 г. Москва, Миусская пл., д.9. Тел. (499) 978-97-96. E-mail: sheryshev@yandex.ru