

ОТЗЫВ

официального оппонента д.т.н. Сулейманова Альфреда Мидхатовича на диссертацию Габдрахмановой Гульназ Мазгаровны на тему «Модифицированные порошковые эпоксидные связующие и технология получения углепластиков на их основе», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов

Актуальность темы. Для создания композиционных материалов с высокими эксплуатационными характеристиками, востребованных в различных отраслях, ключевым является одновременное достижение превосходных теплофизических и физико-механических свойств, а также обеспечение технологичности производства. Порошковые технологии предоставляют уникальные возможности в этом направлении, позволяя использовать связующие различных составов для пропитки армирующих наполнителей твердыми полимерами. Порошковые технологии превосходят традиционные методы с использованием жидких связующих по нескольким ключевым параметрам. Они обеспечивают более длительный срок хранения материалов, исключают использование растворителей и минимизируют выбросы летучих органических соединений, что делает процесс более экологичным и экономичным. В результате, возможно получение высококачественных и недорогих твердых препрегов.

Применение порошковой технологии для переработки твердых бензоксазинов и цианоэфиров выглядит многообещающим. Это связано с тем, что при обычных температурах они пребывают в кристаллическом или стеклообразном виде, не обладая при этом липкостью, что облегчает их использование в данном процессе.

При создании токопроводящих композитов на основе порошковых связующих важным аспектом является выбор электропроводящего наполнителя. Наиболее распространенными являются металлические

порошки (медь, никель, серебро), углеродные материалы (графит, углеродные нанотрубки, графен) и проводящие полимеры. Каждый из этих наполнителей обладает своими преимуществами и недостатками, определяющими выбор в зависимости от конкретных требований к материалу.

Важную роль в формировании электропроводящих свойств композита играет концентрация наполнителя. Существует так называемый порог перколяции, при котором происходит резкое увеличение электропроводности материала. До достижения этого порога наполнитель распределен в полимерной матрице изолированно, а после его превышения формируется проводящая сетка. Полученные токопроводящие композиты находят применение в различных областях, включая изготовление электростатической защиты, экранирующих покрытий, проводящих клеев и датчиков. Их использование позволяет создавать легкие, прочные и функциональные материалы с заданными электрическими параметрами.

Научная новизна. Разработан и успешно испытан метод создания порошковых препрегов без использования растворителей, при этом было обнаружено, что электрический заряд улучшает пропитку волокон связующим. С целью уменьшения межслоевого трения при термоформовании была разработана методика целенаправленного изменения реологических характеристик связующих путем доотверждения и добавления наполнителей. Разработан и применен метод электростатического нанесения порошкового эпоксидного связующего на углеродное волокно для создания сухих препрегов, которые затем были использованы для изготовления композитных пластин.

Теоретическая и практическая значимость. Разработана эффективная и автоматизируемая технология производства углекомпозитов, основанная на использовании порошковых связующих (эпоксидных, цианэфирных и бензоксазиновых) и электростатического напыления. Ключевым элементом является создание твердых препрегов с воздухопроницаемой структурой, обеспечивающих длительный срок хранения и возможность формования под

вакуумом без дополнительного давления. В рамках исследования изучено влияние добавления графита на электрическую проводимость и текучесть эпоксидной смолы и углепластика, а также определены параметры, при которых графит начинает формировать проводящую сетку (перколяция).

Создано порошковое связующее на основе бензоксазиновой и циановой смол, обеспечивающее превосходные технологические характеристики и позволяющее получать высококачественные углеродные композиты. Разработанный метод производства армированного углекомпозита обеспечивает высокие физико-механические свойства и теплостойкость. Установлено, что препрег, формируемый напылением порошкового связующего, имеет уникальную воздухопроницаемую структуру, обусловленную концентрацией связующего на волокнах. Это значительно улучшает процесс удаления воздуха при внеавтоклавной консолидации. Путем оптимизации концентрации токопроводящего наполнителя в порошковом связующем, удалось достичь предела перколяции в углекомпозите, что привело к повышению его поперечной электропроводности. Разработаны эффективные методы получения препрега и армированного углекомпозита с улучшенными характеристиками.

Достоверность. Достоверность полученных результатов не подвергается сомнению в связи с использованием калиброванного оборудования и современных высокоточных методов исследования.

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованных источников (160 наименований), изложена на 117 страницах, содержит 12 таблицы и 56 рисунков.

По результатам диссертации опубликованы в ведущих научных журналах и изданиях (4 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК, 2 статьи в изданиях, входящих в международные базы Web of Science и Scopus,), автором получено 3 патента на изобретение. Результаты исследования многократно апробированы на профильных конференциях (13 докладов на конференциях различного уровня).

Замечания:

1. В работе представлено неполное обоснование выбранных объектов исследования. В частности, автор в качестве компонентов связующего выбрал в основном импортные продукты – твёрдую эпоксидиановую смолу на основе бисфенола А – D.E.R 671 (от компании Olin Corporation, ранее – Dow Chemical, США) и циановый эфир на основе фенольной новолачной смолы Primaset PT-30 (от компании Lonza, Швейцария). В условиях выраженного дефицита импортного сырья на российском рынке с 2022 года логичным представляется приведение в работе российских (при наличии) и/или азиатских аналогов.

В качестве армирующих наполнителей были использованы 3 вида углеродных тканей от ООО «Ниагара» - УТР1000-3-200С2 (на основе нити марки AS4C-GP 3К), УТР1000-3-200П (на основе нити марки HTS45 E23 3К), УТР1000-3-200С2 (на основе нити марки HTS45 E23 3К) – при этом их характеристики (см. табл. 2.4, стр. 29 диссертационной работы) идентичны в плане геометрических параметров тканей, поверхностной плотности и типа плетения (саржевое переплетение 2×2). Не ясно каким образом изменение марки ткани повлияло на составы или технологические режимы изготовления углепластиков.

При этом практический интерес представляет оптимизация технологических характеристик разработанного напыляемого связующего и технологических режимов при изменении поверхностной плотности углеродной ткани.

2. Одним из ключевых преимуществ углепластиков перед другими типами армированных полимерных композитов (стекло-, базальтопластиков и некоторых других) является высокие физико-механические показатели, в том числе жёсткость и модуль упругости. Разработанный автором углекомпозит обладает сравнительно невысокими значениями модулей упругости при растяжении и изгибе – около 60 ГПа (см. табл. 3.8, стр. 90 диссертационной работы), характерными более для стеклопластиков.

3. Технологическая линия изготовления консолидированных пластин, представленная на рис. 3.50 (стр. 91 диссертационной работы) больше соответствуют схематической иллюстрации технологии, а её последующее описание не содержит характеристику технологического оборудования и температурно-временных режимов реализации отдельных технологических этапов.

При этом автор отмечает (на стр. 90 диссертационной работы), что эффективное проектирование производственной технологии позволяет снизить расходы на организацию производственного процесса; снизить количество привлекаемого персонала; повысить темпы роста производительности труда.

Однако, при таком представлении технологии адекватно оценить заявленные автором эффекты не представляется возможным.

Перечисленные замечания не носят принципиального характера и не снижают научно-практической ценности диссертационной работы.

Заключение

Диссертационная работа Габдрахмановой Гульназ Мазгаровны является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной задачи по разработке модифицированных порошковых эпоксидных связующих, обладающих хорошими теплофизическими характеристиками и технологии получения композитов на их основе, заключающаяся в получении сухих препрегов методом электростатического напыления и их последующей консолидации в пластины для дальнейшей переработки методом компрессионного формования, обладающих хорошими физико-механическими свойствами. Полностью соответствует требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.11. «Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов».

Диссертация написана аккуратно и квалифицированно, на высоком техническом уровне, содержит большой объем экспериментального материала, имеет графические иллюстрации, таблицы.

Автор представленной диссертации Габдрахманова Гульназ Мазгаровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов.

Официальный оппонент, доктор технических наук (по специальности 05.23.05 — Строительные материалы и изделия), профессор, заведующий кафедрой «Строительные материалы» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный архитектурно-строительный университет» тел: +7-960-032-66-58; e-mail: sulejmanov@kgasu.ru



Сулейманов Альфред Мидхатович

13.05.2025 г.

Подпись, должность, ученую степень и ученое звание А.М. Сулейманова удостоверяю



Собственноручную подпись
<i>А.М. Сулейманов</i>
удостоверяю
Начальник Отдела кадров
<i>В.И. Замирушина</i>
«13» 05 2025 Р.Р.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный архитектурно-строительный университет». Адрес: 420043, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1. Тел.: +7 (843) 510-46-01. E-mail: info@kgasu.ru. URL: <https://www.kgasu.ru>

Вход. № 05-8422
«19» 05 2025 г.
подпись *В.И. Замирушина*