

ОТЗЫВ

официального рецензента на диссертационную работу **Ермахановой Азиры Муратовны** «Исследование эффективных путей упрочнения углепластика углеродными наночастицами», представленную на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D071000 – «Материаловедение и технология новых материалов»

1. Соответствие направлениям развития науки (формируются Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан в соответствии с пунктом 3 статьи 18 Закона "О науке") и (или) государственным программам

Диссертационная работа соответствует направлениям развития науки (в соответствии с пунктом 3 статьи 18 Закона "О науке"), сформированным Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан, в частности приоритету " нанотехнологии и новые материалы" и выполнялась в рамках проектов, финансируемых из государственного бюджета: «Разработать отечественную технологию производства высокопрочных углепластиков и изделий из них с граничными характеристиками» по программе «Грантовое финансирование научных исследований» (ГФ0093/ГФ4) на 2015-2017 гг., «Разработать отечественную технологию получения высокомодульного и высокопрочного изделия из углепластика аэрокосмического назначения» на 2015-2017 гг. по Республиканской бюджетной программе 076 «Прикладные научные исследования в области космической деятельности, транспорта и коммуникации».

2. Актуальность темы исследования

Полимерные композиционные материалы, армированные углеродным волокном, или углепластики, сочетают низкую плотность, высокий модуль упругости и прочность. Это делает их широко используемыми в различных областях промышленности: авиастроении, автомобилестроении, строительстве, спортивной промышленности, медицине и т. д. Особенно важной областью использования углепластиков является космическая отрасль, где повышение прочности материалов, используемых при изготовлении как ракетной техники, так и искусственных спутников, позволяет, увеличить полезную нагрузку летательных аппаратов и соответственно снизить стоимость вывода грузов на орбиту Земли.

К современным углепластикам предъявляются достаточно жесткие требования, как по комплексу технологических, так и эксплуатационных свойств. Основными направлениями повышения физико-механических и эксплуатационных характеристик углепластиков являются модификация поверхности армирующих волокон и жидкого полимерного связующего. В настоящее время модифицирование полимерного связующего путем введения в него различных нано- и ультрадисперсных углеродных частиц рассматривается как эффективный способ повышения прочностных характеристик углепластиков. Наиболее актуальными направлениями

исследований в области технологий полимеров в отношении функциональных нанокompозитов являются, в частности, следующие :

- выбор наиболее эффективных типов углеродных нанонаполнителей для разработки углепластиков;
- определение оптимальной концентрации наночастиц в полимерной матрице;
- выбор эффективных методов диспергирования нанонаполнителей при производстве углепластиков;
- создание углепластика с комбинированным наполнением углеродное волокно/углеродные наночастицы;
- производство функциональных гибридных полимерных композиционных материалов на основе армирующей углеродной ткани с наполнителем углеродных наночастиц;
- производство функциональных углеродных композитов с повышенной прочностью и трещиностойкостью.

В научно-технической и патентной литературе по полимерным нанокompозитам приводятся многочисленные данные о связи физико-механических характеристик с концентрацией углеродных наночастиц. Однако, не достаточно внимания уделено исследованию влияния содержания таких частиц на процесс отверждения эпоксидной смолы. Плохо изучено влияние параметров деформирования на прочностные характеристики нанокompозиционных материалов, получаемых в результате введения в реактопласты углеродных наночастиц. Между тем, эта информация нужна для понимания механизма упрочнения реактопластов наночастицами. В частности это может внести понимание в вопрос "Что превалирует в упрочнении реактопластов при введении в них наночастиц: граничные эффекты, простое армирование или влияние на процесс сшивки?". Решение этого вопроса позволит проектировать и затем создавать полимерные композиционные материалы с заданным уровнем свойств.

Таким образом, определение влияния содержания углеродных наночастиц, способа функционализации их поверхности на характеристики эпоксидной смолы как на стадии отверждения, так и после, а также выявление параметров изменения механических свойств углепластиков полученных с использованием модифицированных углеродными наночастицами эпоксидных смол является актуальной задачей. Решение этой задачи будет способствовать созданию новых компаундов, клеев, герметиков связующих для производства угле- и стеклопластиков и изделий из полимерных композитов.

3 Соответствие принципам новизны, самостоятельности, достоверности, внутреннего единства, практической ценности, академической честности

Диссертационная работа соответствует принципам новизны, поскольку в ней впервые приводятся новые систематизированные данные о влиянии содержания углеродных нанотрубок и способа модифицирования их

поверхности на реологические свойства эпоксидных нанокompозитов на стадии отверждения и после завершения этого процесса, а также новые экспериментальные данные о изменении механических свойств углепластика, полученного с применением эпоксидной смолы модифицированной углеродными наночастицами.

К наиболее значимым научным результатам, полученным диссертантом в ходе исследований, следует отнести следующее:

- Установлено, что углеродные нанотрубки с немодифицированной поверхностью и после модифицирования, введенные в эпоксидную смолу «Этал Инжект-Т» в количестве 0,15% повышают ее вязкость при комнатной температуре на 4-55%, при 50°C на 5-52%, при 70°C – на 6%; оказывают влияние на процесс ее гелеобразования замедляя его в не модифицированном состоянии на 79%, карбоксилированные на 106%, карбоксильно-гидроксилированные на 84%, амидированные на 98%, при этом ускоряют последующее их отверждение.

- Количество и способ модифицирования поверхности вводимых в эпоксидную смолу «Этал Инжект-Т» углеродных нанотрубок не оказывает существенного влияния на ее предел текучести при сжатии;

- Количество и способ модифицирования поверхности углеродных нанотрубок вводимых в эпоксидную смолу «Этал Инжект-Т» оказывает существенное влияние на кривую напряжение-деформация смолы при сжатии. Увеличение количества до 0,15 мас.% и модифицирование поверхности углеродных трубок приводит к уменьшению зоны пластической деформации, повышая предел прочности и снижая пластичность образцов нанокompозиционной эпоксидной смолы. При равном количестве максимальное повышение прочности вызывает введение амидированных углеродных нанотрубок.

- С увеличением содержания от 0 до 0,15 мас.% углеродных нанотрубок с модифицированной поверхностью в составе эпоксидной смолы, используемой при получении углепластиков, обнаружено повышение предела прочности образцов углепластика при испытании на сжатие и в большей степени на изгиб. Наибольшее увеличение вызывает введение в эпоксидную матрицу амидированных углеродных нанотрубок, при котором в случае сжатия предел прочности повышается на 16%, а в случае изгиба на 132%.

По теме диссертации опубликовано 8 работ: 1 публикация в журнале, входящем в базу данных Scopus, 3 статьи в изданиях рекомендованных ККСОН МОН РК и 4 доклада на международных научных конференциях.

Автор диссертационной работы самостоятельно проводил экспериментальную работу, в публикациях по теме диссертации Ермаханова А.М. указана первой в списке авторов, на основании чего можно заключить, что при подготовке диссертационной работы принцип самостоятельности был соблюден.

Достоверность приведенных в диссертационной работе результатов экспериментальных исследований подтверждается тем, что они были получены с использованием приборов, прошедших государственную поверку, имеющих

требуемый класс точности измерений и соответствующие «Закону об обеспечении единства измерений». В графических зависимостях и тексте использованы единицы измерений, соответствующие метрологическим правилам и нормам Международной системы единиц СИ. Экспериментальные исследования проведены на метрологически сертифицированном оборудовании КазНУ имени аль-Фараби (Аттестат аккредитации №KZ-И.02.1371 от 14 марта 2013 г. (действителен до 14 марта 2018 г.), АО «ИМиО» (Аттестат аккредитации №KZ-И.02.1138 от 23 февраля 2016 г. (действителен до 23 февраля 2021 г.), МГТУ имени Н.Э.Баумана.

Диссертационная работа характеризуется внутренним единством поскольку последовательность изложения, представленные результаты экспериментальных и теоретических исследований, выводы взаимосвязаны и направлены на достижение поставленной цели - на повышение прочности углепластика на основе исследований влияния модифицированных углеродных наночастиц на свойства композиционного материала, и задач:

- Анализ углеродных наночастиц, применяемых при упрочнении углепластика и выбор оптимальных материалов и методы его обработки.

- Проведение экспериментальных работ по влиянию углеродных нанотрубок разной модификации на процесс отверждения ЭС.

- Исследование влияния скорости деформации на прочность ЭС. Определение зависимости напряженно-деформированного состояния ЭС от модифицированного УНЧ.

- Исследование влияния скорости деформации на прочность при сжатии углепластика, модифицированного УНЧ.

Полученные соискателем результаты исследования имеют практическую ценность и могут быть использованы для совершенствования технологии получения конструкционных углепластиков аэрокосмического назначения в ТОО СП «Галам» (г.Нур-Султан), а также предприятиями оборонно-промышленного комплекса Республики. Практическая ценность подтверждается полученным патентом на полезную модель.

Анализ текста диссертационной работы позволяет заключить о академической честности соискателя, поскольку не обнаруживает плагиата, присвоения результатов чужого интеллектуального труда, фрагментов заимствованного текста, иллюстраций, таблиц без указания авторства и указания заимствований.

4. Замечания, предложения по диссертации

По работе имеются следующие замечания и пожелания:

- 1 Для оценки степени однородности распределения углеродных нанотрубок желательно было бы применить какой-либо более точный способ помимо оптической микроскопии, тем более, что такие нанообъекты сложно исследовать в видимом спектре света.

- 2 Использование ультразвуковой ванны с постоянными параметрами излучения ультразвука не позволило изучить влияние этих характеристик на

распределение углеродных наночастиц в эпоксидной смоле. Применение ультразвукового диспергатора позволило бы оценить влияние удельной акустической мощности и частоты ультразвука на этот процесс.

3 Не понятно на сколько однородно распределялись углеродные наночастицы в эпоксидной матрице после пропитки углеродной ткани и почему не изучено влияние ультразвуковой обработки углеткани, пропитанной эпоксидной смолой с углеродными нанотрубками, на прочностные характеристики получаемых углепластиков?

4 При оценке влияния модифицирования эпоксидной матрицы углеродными наночастицами на свойства углепластиков правильнее было бы получать и испытывать однонаправленные образцы углепластиков.

5 Каков механизм влияния модифицирования поверхности углеродных нанотрубок на процесс гелеобразования и отверждения эпоксидной смолы?

6 Каков механизм повышения предела прочности эпоксидной смолы при введении в нее до 0,15 мас.% модифицированных углеродных нанотрубок?

7 При оценке влияния скорости деформации на изменение напряжений в образцах эпоксидной смолы и углепластика более правильным было бы использовать размерность не мм/мин, а %/мин, поскольку эта величина не зависит от размеров образца.

8 В ориентировочном экономическом расчете (Приложение Д) желательно было бы указать толщину получаемого листа углепластика.

Однако, указанные замечания не снижают научной и практической ценности диссертационной работы.

5. Заключение о возможности присуждения степени доктора философии (PhD), доктору по профилю

Исходя из вышеизложенного, диссертационная работа «Исследование эффективных путей упрочнения углепластика путем модификации углеродными наночастицами» Ермахановой Азиры Муратовны выполнена с соблюдением принципов самостоятельности, научной новизны, достоверности и практической ценности, что полностью соответствует требованиям раздела 2 «Правил присуждения ученых степеней» ККСОН МОН РК, а ее автор Ермаханова Азира Муратовна заслуживает присуждения степени доктора философии (PhD) по специальности 6D071000 – Материаловедение и технология новых материалов.

Официальный рецензент
канд.техн.наук, заведующий
Национальной научной лабораторией
АО «Институт металлургии и
обогащения»

«29» апреля

