

## **ОТЗЫВ**

### **официального оппонента**

на диссертационную работу Лизунова Дениса Александровича «Разработка высокопрочных углепластиков на основе эпоксисодержащих олигомеров», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.06 – Технология и переработка полимеров и композитов.

Полимерные материалы и полимерные композиты приобрели важное место в современной технике. Полимеры, армированные углеродными волокнами, относятся к одному из наиболее перспективных типов композиционных материалов. Развитие современной техники обуславливает необходимость создания новых материалов, способных надежно работать в экстремальных условиях.

В настоящее время широкое применение находят эпоксидные олигомеры при создании армированных материалов, благодаря высокой адгезии к волокнистым наполнителям, высоким деформационно-прочностным характеристикам и другим ценным свойствам. Вместе с тем, применение армированных материалов ограничивается отсутствием современных связующих с требуемым комплексом эксплуатационных и технологических свойств, разработка материалов осуществляется для решения локальных задач, узкой области применения.

В связи с этим диссертационная работа Лизунова Д.А., посвященная разработке высокопрочных углепластиков на основе эпоксисодержащих олигомеров с улучшенными прочностными и технологическими свойствами, является весьма актуальной.

Научная новизна работы Лизунова Д.А состоит в том, что в ней разработаны комплексные методы исследования и направленного регулирования структуры и свойств эпоксисодержащих олигомеров и установлены зависимости характера процесса отверждения, межфазных характеристик на границе раздела полимер – армирующий наполнитель, параметров образующейся структурной сетки от природы используемых модификаторов и технологических параметров процесса

переработки. Установлена зависимость физико-механических свойств углепластиков от характера межфазного взаимодействия. Разработаны и оптимизированы процессы получения препрегов и углепластиков на основе модифицированных эпоксидных олигомеров с улучшенным комплексом свойств.

Практическая ценность работы Лизунова Д.А. не вызывает сомнений. Проведенные исследования позволили диссертанту разработать конструкционные армированные материалы на основе модифицированных олигомеров с улучшенным комплексом эксплуатационных и технологических свойств, которые успешно прошли испытания, о чем свидетельствует акт, приложенный к диссертации.

Диссертация Лизунова Д.А. включает введение, литературный обзор, методическую часть с описанием объектов и методов исследования, обсуждение результатов, выводы, список литературы и приложение с актом испытаний разработанных композиций.

Общее содержание работы достаточно полно отражено в рисунках и таблицах. Полученные результаты подробно обсуждены в соответствующих разделах и обобщены в выводах.

Во введении диссертант четко обосновал актуальность работы, общее направление работы, а также кратко охарактеризовал полученные результаты проведенного исследования.

В литературном обзоре последовательно анализируются: работы, посвященные связующим для армированных материалов, волокнистым наполнителям, модификации эпоксидных олигомеров химическими соединениями различной природы и наноразмерными наполнителями, изучению межфазных характеристик и процесса отверждения.

Анализ приведенных в обзоре литературных данных позволяет автору достаточно обоснованно подойти к выбору объектов и методов исследования в своей работе. Представленные материалы обоснованы и актуальны.

Основное содержание экспериментальной части составляет информация об объектах и методах исследования, представленная во второй главе. Все исходные вещества достаточно полно охарактеризованы по основным показателям.

Обращает на себя внимание достаточно широкий спектр используемых методов изучения процесса отверждения, включающий в себя реокинетические исследования, дифференциальную сканирующую калориметрию, динамический механический анализ, а также большой комплекс методов оценки межфазного взаимодействия на границе раздела полимерное связующее – углеродный наполнитель. Также необходимо отметить и разностороннюю оценку прочностных характеристик углепластиков, в том числе ударную вязкость, прочность при растяжении и изгибе, остаточную прочность по методу сжатия после удара, межслоевой сдвиг и др.

Раздел « Обсуждение результатов » является основным в диссертации. В нем подробно излагаются полученные автором экспериментальные данные по исследованию процессов формирования и регулирования сетчатых структур, регулированию процессов отверждения, межфазных характеристик и свойств связующего на основе олигомеров ЭД-20, DEN-425 и СФ-340А, исследованию технологических особенностей получения препрегов и углепластиков на их основе, разработке и комплексным испытаниям армированных материалов.

В главах 3.1 и 3.2 автором приводится обоснованный выбор эпоксиолигомерной основы и модифицирующих добавок, в том числе наноразмерных наполнителей. Модификаторы рассматриваются с точки зрения оптимизации тех или иных свойств композиционного материала.

Важное место занимают исследования, представленные в главе 3.3 и связанные с определением межфазного взаимодействия на границе раздела полимерное связующее – углеродное волокно, что позволяет регулировать межфазные характеристики и физико-механические свойства углепластиков. Автор проводит последовательное изучение межфазных явлений, переходя от адсорбционных характеристик к вопросам адгезионной прочности. Установлена симбатная зависимость между углом смачивания и адгезионной прочностью. Наиболее интересными методами, использованными автором при изучении межфазных характеристик, являются метод определения динамического угла смачивания, а также работы адгезии двухжидкостным методом.

В главе 3.4 рассматриваются вопросы связанные с изучением кинетики отверждения исследуемых связующих, что является важным этапом при создании технологии формования композиционных материалов.

Следует отметить, что в своей работе диссертант грамотно использует различные методы исследования, дополняющие друг друга, оперирует различными кинетическими уравнениями и подходами. При этом он четко определяет границы их применимости. Так, метод ротационной вискозиметрии применим для исследования реологического поведения систем до точки гелеобразования, метод ДСК чувствителен лишь до момента стеклования, а на завершающих стадиях превращения можно использовать метод ДМА. Таким образом, автор выстраивает понятную картину поведения исследуемых систем в процессе отверждения и показывает возможность его регулирования при использовании различных модифицирующих добавок.

Глава 3.5 посвящена изучению технологических особенностей получения композиционных материалов. Автором оптимизированы условия пропитки углеродного наполнителя и последующей термообработки в процессе получения препрегов. Показана необходимость проведения предварительного отверждения препрегов. Примечательной является разработанная методика оценки липкости препрегов, как немаловажной технологической характеристики. На основе изучения процесса отверждения автором предложен многоступенчатый режим формования углепластиков.

Стоит отметить ряд технологических приемов, использованных автором при разработке технологических режимов формования, а также комплексные испытания разработанных углепластиков, приведенные в главе 3.6. Результаты испытаний, проведенных в соответствии с международными стандартами, не вызывают сомнений. Установлена симбатная зависимость между адсорбционно-адгезионными и прочностными характеристиками исследуемых материалов. В результате исследований структуры отвержденных полимеров методом атомно-силовой микроскопии показано, что используемые модификаторы способствуют образованию более равномерной и упорядоченной структуры.

В выводах диссертации автор в краткой форме подводит резюме выполненной работы, отмечая её основные результаты как с научной, так и с практической точек зрения.

Не вызывает сомнения, что работа Лизунова Д.А. выполнена на высоком экспериментальном уровне, с привлечением разнообразных современных физико-химических методов исследования. Она хорошо оформлена, результаты исследований изложены весьма систематично и им в большинстве случаев дано убедительное толкование. Выводы вполне обоснованы, соответствуют выполненным исследованиям и достоверны.

Разработанные материалы прошли успешные испытания в ООО «Маруся Моторс», что подтверждено соответствующим актом.

В то же время по работе можно сделать следующие замечания:

1. В работе недостаточно рассмотрены вопросы предварительной обработки волокна.
2. Автор исследует влияние отдельных модификаторов на свойства материалов, но, к сожалению, в работе мало отражено совместное использование модификаторов, к примеру поликарбоната и органобентонита.
3. При оформлении диссертации автором допущены неточности, опечатки и небрежности оформления.

Однако, сделанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы. Диссертация Лизунова Д.А. является завершённой научно-квалификационной работой, в которой изложены новые технические решения, вносящие вклад в развитие технологии композиционных материалов

По объёму, уровню проведенных исследований и обсуждения полученных результатов, работа Лизунова Д.А., безусловно, заслуживает высокой оценки.

Текст автореферата достаточно полно отражает основные положения диссертации. Основные результаты изложены в 8 публикациях, в том числе в 4 научных статьях в журналах из списка ВАК.

Диссертация Лизунова Дениса Александровича «Разработка высокопрочных углепластиков на основе эпоксисодержащих олигомеров» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, полностью соответствующую требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (утверждено Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842).

Автор диссертационной работы Лизунов Д.А несомненно заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.06 - Технология и переработка полимеров и композитов.

Доктор технических наук, профессор  
Начальник лаборатории активных углей  
ОАО «ЭНПО «Неорганика»,  
адрес: 144001, г. Электросталь, Московская область,  
ул. К. Маркса, д. 4  
тел.: 8 (495) 575-50-06  
e-mail: [neorg.el@mail.ru](mailto:neorg.el@mail.ru)

В.М. Мухин

Подпись В.М. Мухина заверяю  
Ученый секретарь совета

О.П. Гашина

