

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Обверткина Ивана Владимировича «МОДИФИКАЦИЯ ЭПОКСИДНЫХ СМОЛ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ФОРМОСТАБИЛЬНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ВОЛОКНИСТЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов

Рассматриваемая работа посвящена изучению направленной модификации полимерной матрицы, как способа регулирования возникающих остаточных напряжений в процессе изготовления полимерного композиционного материала и нивелирования влияния отклонения технологических параметров.

В процессе создания полимерного композиционного материала величина остаточных напряжений зависит от различных факторов таких как: ориентация армирующего наполнителя, несоответствие температурного расширения компонентов композиционного материала, а также параметров технологического процесса. Остаточные напряжения могут привести к деформациям и дефектам материала, что в свою очередь снижает эксплуатационные характеристики изделия. Изучение направленной модификации полимерной матрицы имеет большое значение для развития индустрии полимерных композиционных материалов. Понимание механизмов и влияния этого метода поможет оптимизировать процессы производства и создать более надежные и инновационные материалы.

Направленная модификация полимерной матрицы представляет собой метод, который позволяет контролировать и управлять остаточными напряжениями внутри материала, путем изменения структуры и свойств полимерной матрицы с помощью добавления модификаторов. В данной работе в качестве модификаторов были использованы углеродные нанотрубки.

Понимание механизмов и эффективности представленного в работе метода позволит разработать новые стратегии и подходы к контролю остаточных напряжений и повышению качества полимерных композитов. Таким образом, **актуальность** данного исследования заключается в создании более надежных полимерных композитных материалов, способных удовлетворить потребности современных технологий промышленных отраслей.

В диссертационной работе Обверткина Ивана Владимировича поставлены весьма актуальные задачи: исследования влияния модификации эпоксидной

матрицы углеродными нанотрубками на формостабильность изделий из полимерных композиционных материалов в условиях дезориентации армирующих волокон. Показано влияние модификации на реологические свойства эпоксидного связующего, термомеханические характеристики полимерной матрицы и волокнистого композиционного материала на ее основе и на величину объемной химической усадки и кинетику отверждения.

В работе были получены **новые научные результаты**:

– Разработана методика оценки влияния направленной модификации полимерной матрицы на формостабильность изделий из ПКМ, заключающаяся в возможности оценки увеличения точности геометрических параметров образцов нанокomпозиционного материала, снижение эксплуатационных свойств которого вызвано дезориентацией армирующих волокон. Использование данной методики позволяет оценить эффективность модификации непосредственно на целевой показатель и определить наиболее эффективные концентрации модификатора.

– Установлено, что модификация полимерной матрицы углеродными нанотрубками снижает влияние дезориентации армирующих волокон на формостабильность изделий из волокнистых полимерных композиционных материалов за счет компенсации температурного расширения.

– Разработана методика поиска параметров модели кинетики отверждения эпоксидного связующего, позволяющая снизить величину ошибки при моделировании процесса отверждения в диапазоне температур более чем в 3 раза. Впервые параметры модели кинетики определялись не для конкретного изотермического или динамического режима, а для широкого диапазона температур с использованием метода многокритериальной оптимизации, позволяющего определить оптимальное решение, исходя из набора экспериментальных данных.

**Значимость для науки и практики, полученных автором результатов**

Решена важная научно-техническая задача улучшения геометрических характеристик крупногабаритных трансформируемых конструкций из полимерных композиционных материалов. Данная задача особенно актуальна при проектировании и изготовлении изделий аэрокосмической области, таких как крупногабаритные рефлектора и мачты.

Разработана методика оценки влияния изменения свойств полимерной матрицы на геометрические характеристики композиционного материала в условиях дезориентации армирующих волокон. Приведена количественная

оценка влияния модификации углеродными нанотрубками эпоксидного связующего на форму образца композиционного материала для схем армирования с нулевым короблением.

Разработанные способы снижения коробления изделий из композиционных материалов использованы при реализации комплексного проекта в рамках 218 постановления правительства РФ «Организация импортозамещающего производства крупногабаритных трансформируемых рефлекторов наземных и космических антенн из интеллектуальных полимерных композиционных материалов на основе безавтоклавных технологий», выполненного в рамках соглашения о предоставлении и использовании субсидии от 01 декабря 2015 года № 02. G25.31.0147.

Обоснованность научных положений подтверждается корректным выбором цели, задач исследования и большим объемом экспериментального материала.

**Достоверность и новизна полученных результатов и выводов,** сформулированных в диссертации, подтверждается квалифицированным использованием современных методов: инфракрасная спектроскопия с Фурье-преобразованием, просвечивающая электронная и сканирующая микроскопия, реологические исследования проведены при помощи ротационного реометра, дифференциально-сканирующая калориметрия, термогравиметрия, термомеханический анализ, динамический механический анализ, оптический бесконтактный метод контроля с помощью координатно-измерительной машины.

Результаты экспериментов получены при многократных повторениях, и согласуются со значениями, полученными расчетным способом. Таким образом, можно утверждать, что результаты диссертационной работы Обверткина И.В. надежны, достоверны, а выводы и положения на их основе являются обоснованными.

#### **Публикации и автореферат**

Материалы диссертационной работы изложены в 13 научных публикациях, в том числе в 5 статьях в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК (квартиль К2-К3), рекомендуемых для размещения материалов диссертаций, из них 3 статьи, входящие в реферативную базу данных Scopus (Q3), 1 патент Российской Федерации, 7 докладов Международных конференций.

Содержание работы **соответствует паспорту научной специальности** 2.6.11 Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов: п.п. 2, 4, 6. Автореферат полностью отражает содержание

диссертационной работы. Диссертация и автореферат оформлены в соответствии с предъявляемыми требованиями и изложены лаконичным языком строго в научном стиле.

### **Общая характеристика диссертационной работы**

Диссертационная работа имеет традиционную структуру, характерную для кандидатских диссертаций, и состоит из введения, литературного обзора, методической и экспериментальной части, выводов и списка цитируемой литературы и приложения. Диссертационная работа изложена на 131 странице машинописного текста, содержит 20 таблиц и 36 рисунков. Библиографический список насчитывает 141 работу.

Во введении диссертантом обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цели и задачи работы, показана новизна и практическая значимость результатов. Приводятся положения, выносимые на защиту, а также сведения о публикациях и апробации работы.

В первой главе исследования был проведен обзор литературы, в котором рассмотрены основные принципы применения материалов с отрицательным коэффициентом линейного термического расширения (КЛТР) в качестве компенсаторов термического расширения полимерных матриц. Также были описаны методы получения наномодифицированных материалов, а также влияние модификации полимерной матрицы на кинетику отверждения эпоксидного связующего и уровень химической усадки. Получена оценка влияния модификации полимерной матрицы на величину остаточных напряжений и на свойства композиционного материала.

Во второй главе рассмотрены используемые в диссертационной работе материалы, описаны основные их свойства и приведены методы исследований и испытаний.

Третья глава содержит экспериментальные данные о влиянии модификации на реологические характеристики, на кинетику отверждения и величину химической усадки эпоксидного связующего. Глава также содержит данные об эффективности влияния модификации на снижение температурного расширения полимерной матрицы и композиционного материала на его основе, на вязкоупругие характеристики композиционного материала и на увеличение точности поверхности образцов композиционного материала и технологической устойчивости схем армирования.

В заключение по итогам проведённых теоретических и экспериментальных исследований автором сформулированы основные выводы, отмечена реализация поставленных целей и задач. Работа имеет внутреннее единство.

### **Вопросы и замечания по диссертационной работе**

1. В таблице 17 указаны прогнозируемые характеристики эпоксидного связующего Т67 модифицированной углеродными нанотрубками. Модуль упругости при концентрациях многостенных углеродных нанотрубок 1 и 2 % составляет 6,414 и 9,478 ГПа соответственно. Данные значения недостижимы вследствие агломерации углеродных наночастиц. Насколько корректно использование указанных значений для расчета свойств элементарного слоя композиционного материала?

2. В таблице 4 указано, что величина коэффициента линейного температурного расширения для эпоксидного связующего Т67 равна  $68 \cdot 10^{-6}$ . Как следует из таблицы 17, измеренный показатель для модифицированного связующего составляет  $58,37-65 \cdot 10^{-6}$ , что, возможно, свидетельствует об агломерации углеродных нанотрубок. В тоже время, экспериментальные значения коэффициента линейного температурного расширения композитного материала практически совпадают со значениями, которые рассчитаны в предположении об индивидуализации углеродных нанотрубок. В диссертации не раскрыты технологические приемы, которые обеспечивают такое положение дел.

3. На рисунках 7 и 8 не указано какие кривые принадлежат модифицированным и нативным углеродным нанотрубкам.

Отмеченные недостатки не имеют принципиального значения, не умаляют научной и практической ценности представленной работы.

### **Заключение по диссертационной работе**

Диссертация Обверткина И.В. «Модификация эпоксидных смол углеродными наночастицами для увеличения формостабильности изделий из волокнистых полимерных композиционных материалов» является логически завершенной научно-квалификационной работой, Диссертационная работа выполнена автором самостоятельно на высоком уровне, в ней изложены новые результаты, имеющие научную, теоретическую и практическую значимость. На основе выполненных автором исследований изложены обоснованные технологические решения, успешно внедренные в производственный процесс на предприятии аэрокосмической области (Акт об использовании результатов диссертационной работы Обверткина Ивана Владимировича в производственном

процессе АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева»).

Считаю, что диссертационная работа «Модификация эпоксидных смол углеродными наночастицами для увеличения формостабильности изделий из волокнистых полимерных композиционных материалов» соответствует требованиям п.9 раздела II действующего «Положения о порядке присуждения учёных степеней» (постановление Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842), а ее автор Обверткин Иван Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ ОФИЦИАЛЬНОМ ОППОНЕНТЕ:

Доктор технических наук (05.16.09 Материаловедение (машиностроение)), ведущий научный сотрудник лаборатории «Технологии маскирующих материалов», региональный учебно-научный центр «Безопасность», федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»



Кондрашов Станислав Владимирович

Почтовый адрес организации: 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, с. 1.  
Телефон: 8(499) 263-66-07; e-mail: bauman@bmstu.ru

Подпись С.В. Кондрашова заверяю:

ВЕРНО



Ведущий специалист по персоналу  
Управления кадрового сопровождения

И.О. Подпись

НАЗАРОВА О.В.

ТЕЛ. 8-499-263-60-48

Вход. № 05 - 79 40  
« 1 » 04 2024 г.  
подпись 