

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу **Жириковой Заиры Муссавны**: «Влияние параметров углеродных нанотрубок на структуру и свойства полимерных нанокомпозитов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 02.00.06-высокомолекулярные соединения.

Актуальность диссертационной работы. Проблема получения и использования композитных материалов, представляющих собой полимер с добавлением некоторого количества углеродных наноструктур стала актуальной вскоре после открытия углеродных нанотрубок. Наличие двойных углеродных связей позволяют присоединять к ним различные радикалы, химические соединения и полимерные цепочки. Сочетание указанных свойств углеродных нанотрубок с уникальными физико-химическими характеристиками позволяет считать ее перспективным материалом для создания высокопрочных композитных материалов.

В настоящее время созданы большое количество указанных нанокомпозитов на основе полимеров разных классов. Свойства таких материалов существенно отличаются от свойств наполненных микрокомпозитов, и свойства нанокомпозитов пока прогнозируются не очень точно. Поэтому необходимо более полное исследование полимерных нанокомпозитов, армированных нанотрубками, для выявления взаимосвязи их структуры и свойств.

Содержание диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Работа представлена на 156 страницах текста, содержит 60 рисунков, 9 таблиц и список литературы, состоящий из 165 ссылок.

Введение посвящено актуальности темы диссертационного исследования, сформулирована основная цель и задачи исследования, обозначена научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе представлен литературный обзор, посвященный современному состоянию исследований структуры и свойств полимерных на-

нокомпозитов на основе углеродных нанотрубок (УНТ). В литобзоре рассматриваются особенности структуры полимерных нанокомпозитов, наполненных УНТ, а также взаимосвязь механических и молекулярных характеристик полимерных нанокомпозитов. Автором сформулирована цель работы, определены задачи исследования.

Во второй главе приведены характеристики полимеров, используемых в качестве полимерной матрицы и УНТ нанонаполнителя. Также приводится описание экспериментальных методик и методика обработки экспериментальных результатов. В заключении главы обоснован выбор объектов и методов исследования.

В третьей главе приводятся результаты исследования структуры полимер/УНТ композитов. Показано, что особенностью структуры углеродных нанотрубок в полимерной матрице нанокомпозита является образование кольцевых структур при содержании нанонаполнителя выше порога перколяции. Показано также наличие жгутов УНТ и формирование перколяционного каркаса. Выполнена теоретическая и экспериментальная оценка фрактальной размерности поверхности углеродных нанотрубок. Обнаружено, что механические свойства нанокомпозитов полимер/УНТ определяет эффективная фрактальная размерности поверхности нанотрубок.

В четвертой главе представлены количественные структурные модели армирования нанокомпозитов (перколяционная и скейлинговая), а также дано количественное описание ряда наиболее важных механических свойств нанокомпозитов. Установлено, что модуль упругости исследуемых нанокомпозитов определяется образованием кольцеобразных структур. Обнаружено, что снижение адгезии с нанотрубками связано с уменьшением радиуса кольцеобразных структур по мере роста степени наполнения. Показано, что модуль упругости нанокомпозитов определяется только структурным состоянием полимерной матрицы. Получены уравнения для описания отношения микротвердости и предела текучести, определяемые только структурным состоянием нанокомпозита.

Пятая глава посвящена теплофизическим свойствам нанокompозитов полимер/углеродные нанотрубки. Предложена структурная трактовка теплового расширения, кристаллизации и вязкости расплава. Показана зависимость уровня адгезии и КТР от структуры углеродных нанотрубок в полимерной матрице. Обнаружено, что уровень молекулярной подвижности, определяемый структурой поверхности нанотрубок, контролирует степень кристалличности полимерной матрицы.

Научная новизна полученных результатов и выводов заключается в следующем:

1. Впервые предложена количественная модель образования кольцеобразных структур УНТ в полимерной матрице и рассмотрено их влияние на свойства нанокompозитов.
2. Выяснено влияние адгезии на степень усиления. Показано, что степень усиления контролируется структурным состоянием матрицы.
4. Дана новая двухуровневая трактовка процесса агрегации УНТ.
5. Обнаружен эффект снижения вязкости расплава нанокompозитов по мере увеличения содержания нанонаполнителя и предложена модель для его описания.

Практическая значимость диссертации заключается в том, что автором предложена скейлинговая модель нанокompозитов полимер/УНТ, позволяющая прогнозировать их модуль упругости.

Используемая автором перколяционная модель позволяет определить предельно достижимые механические характеристики полимерных наноматериалов. Определена область концентраций углеродных нанотрубок, в которой возможно их эффективное диспергирование под действием ультразвука. Показана возможность управления вязкостью расплава нанокompозитов.

Достоверность и обоснованность полученных в работе результатов определяется использованием современных экспериментальных методик корректностью использованных физических концепций и структурных моделей; соответствием данных экспериментов теоретическим и расчетным результа-

там; соответствием полученных результатов результатам представленным в литературных источниках.

Основные результаты диссертации опубликованы в 11 журнальных статьях, включенных в перечень ВАК Российской Федерации и в многочисленных трудах конференций. Работа прошла апробацию на 10 научных конференциях.

Автореферат диссертации отражает основное содержание работы, дает краткое описание основных научных результатов полученных автором и выносимых на защиту, соответствует необходимым требованиям.

Диссертационная работа Жириковой З.М. соответствует пункту П.8. «Усовершенствование существующих и разработка новых методов изучения строения, физико-химических свойств полимеров в конденсированном состоянии и других свойств, связанных с условиями их эксплуатации» по специальности 02.00.06 «Высокомолекулярные соединения»

Полученные в результаты представляют интерес для специалистов, работающих в области материаловедения, нанотехнологии и физики наноструктур. Результаты диссертации могут быть рекомендованы к использованию на предприятиях, связанных с производством высокопрочных полимерных нанокомпозитов, в частности в Федеральных государственных бюджетных образовательных учреждениях высшего образования: Московском государственном университете (МГУ), Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ), Московский технологический университет (МИТХТ), Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева (РХТУ), Казанский технологический университет, в Федеральных государственных бюджетных учреждениях науки: Институт высокомолекулярных соединений (ИВС РАН), институт органической химии (ИОХ РАН), Институт нефтехимического синтеза им. А.В.Топчиева (ИНХС РАН), Научно-исследовательский физико-химический институт имени Л. Я. Карпова РАН, Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов, Институт химической физики им. Н.Н.Семёнова.

По материалам диссертации имеются следующие замечания:

1. Диссертант не использует существующие и широко известные модели Хальпина-Цая и Мори-Танаки для описания армирования полимера.
2. Диссертант для описания эффекта увеличения модуля упругости полимера использует термин «усиление», а не «упрочнение».
3. Имеются некоторые неудачные выражения и опечатки.

Несмотря на сделанные замечания, диссертация Жириковой З.М. является научно-квалификационной работой, в которой исследуются структура свойства нанокompозитов полимер/УНТ. Работа актуальна и полностью соответствует требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013г. №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Жирикова Заира Муссавна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук специальности 02.00.06 - высокомолекулярные соединения.

Ведущий научный сотрудник ИХФ РАН, д.ф.-м.н.

/Баженов С.И.

Собственноручную подпись
сотрудника Жирикова З.М.
удостоверяю
Секретарь

