

## ОТЗЫВ

научного руководителя, д.х.н., профессора Джардималиевой Гульжан Исаковны о диссертационной работе Букичева Юрия Сергеевича «Композиционные материалы на основе сшитых полимерных матриц с наночастицами диоксида титана (IV)», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17.

Материаловедение (технические науки)

Диссертационная работа Букичева Ю.С. посвящена решению актуальной задачи – исследованию влияния размера и содержания наночастиц диоксида титана и их агрегации на микроструктуру, комплекс физико-механических, термических и теплофизических, диэлектрических, реологических и технологических свойств полимерных композитов и разработке на этой основе нанокомпозиционных материалов на основе эпоксидной (ЭП) и полиимидной (ПИ) матриц.

В качестве объекта исследования использованы полимерные нанокомпозиционные материалы на основе эпоксидных и полиимидных матриц с наночастицами диоксида титана (IV).

В ходе теоретических и экспериментальных исследований соискателем проведено изучение влияния введения наночастиц диоксида титана на технологически важный параметр – кинетику отверждения эпоксидной смолы в процессе формирования полимерного нанокомпозита, а также на комплекс механических и эксплуатационных свойств получаемого материала. Показано, что в зависимости от размера и содержания вводимых наночастиц наблюдается ускорение реакции отверждения эпоксидного олигомера на 130-150 %, приводящее к сокращению времени гелеобразования. Полученные результаты позволяют обосновать технологические рекомендации по выбору режима отверждения в системе наноаппликатор-эпоксидный олигомер. Согласно результатам физико-механических испытаний выявлено, что введение наночастиц диоксида титана в полимерную матрицу позволяет преодолеть недостатки традиционных упрочнителей за счет одновременного повышения предела прочности (на 9% и 40%), модуля упругости (на 56% и 65%), относительного удлинения (в 2.4 и 2.6 раз) и ударной вязкости (в 4.7 и 3.2 раза) для эпоксидных композитов с наночастицами диоксида титана (IV) со средними размерами 46 и 100 нм, соответственно. При этом мелкодисперсные частицы  $\text{TiO}_2$  со средним размером = 5 и 10 нм подвергаются агрегации даже в условиях дополнительного диспергирования, что требует усложнения технологии получения нанокомпозиционных материалов.

С целью улучшения эксплуатационных характеристик полимерных материалов рассматриваемого типа рассмотрено влияние  $\gamma$ -облучения дозами до 300 кГр на свойства эпоксидных нанокомпозитов, наполненных 2 масс. % диоксида титана. Впервые показано сохранение стабильности деформационно-прочностных характеристик при дозе облучения до 300 кГр, а также термической стабильности при температурах до 260 °С при дозах до 240 кГр. Предложен механизм стабилизации свойств эпоксидных нанокомпозитов, согласно которому добавленные наночастицы выступают в качестве ловушки свободных радикалов, образующихся в процессе  $\gamma$ -облучения, за счет гидроксильных групп на поверхности вводимых наночастиц, что подтверждается результатами ИК-спектроскопии.

Полученные полиимидные нанокомпозиты, наполненные наночастицами диоксида титана (IV), демонстрируют увеличение температуры стеклования при повышении содержания наночастиц с 363 °С для ненаполненного полиимида до 370 °С содержания  $\text{TiO}_2$  10 масс. %. При этом нанокомпозиты сохраняют высокие диэлектрические свойства даже в условия повышенных (до 200 °С) температурах, о чем свидетельствуют результаты диэлектрических исследований. Суспензии, наполненные полученными дисперсными полиимидными нанокомпозитами, при реологических исследованиях демонстрируют псевдопластичное поведение, характерное для Бингамовских жидкостей. Полученные полиимидные нанокомпозиты впервые использованы в качестве эффективной дисперсной фазы электрореологических жидкостей. Установлено, что полисилоксановые суспензии на их

основе при приложении электрического напряжения до 2 кВ проявляют положительный воспроизводимый отклик в виде повышения вязкости суспензии до 55%.

Разработан *in situ* метод получения полиимидных нанокомпозитов, наполненных наночастицами диоксида титана, с однородным распределением наночастиц в полимерной матрице и улучшенными термическими и теплофизическими свойствами.

Результаты диссертационного исследования в полной мере представлены в 6 статьях и 14 тезисах материалов конференций. Букичев Ю.С. ежегодно докладывал результаты своей работы в виде устных и стендовых докладов на конференциях всероссийского и международного уровня.

В ходе выполнения диссертационной работы Букичев Ю.С. проявил себя дисциплинированным и ответственным исследователем, способным к самостоятельному рациональному анализу и решению поставленных задач. Он успешно использовал в работе знания, полученные на всех этапах обучения в аспирантуре. Соискателем получен ряд значимых результатов, научная новизна, достоверность и объективность которых не вызывает сомнения.

Как научный руководитель, считаю, что диссертационная работа Букичева Ю.С. представляет собой законченное научное исследование, удовлетворяет основным требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и соответствует специальности 2.6.17 Материаловедение. Диссертант является сформировавшимся исследователем и по своей квалификации заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 Материаловедение.

Научный руководитель:  
доктор химических наук, профессор,  
заведующий лабораторией  
металлополимеров  
ФГБУН ФИЦ ПХФ и МХ РАН

142432, Московская область, г.  
Черноголовка, проспект академика  
Семенова, д. 1  
+7 (49652) 2-77-63  
dzhardim@icp.ac.ru



Джардималиева  
Гульжиан Исаковна

16.06.2024  
Сотруднику  
ДОСТОВЕРЯЮ  
Сотрудник  
Канцелярии

Сотруднику Джардималиевой Г.И.