

УДК 546.26

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИК ВВЕДЕНИЯ ДИСПЕРСИЙ МНОГОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК В ПОЛИМЕРНУЮ И МЕТАЛЛИЧЕСКУЮ МАТРИЦЫ

© 2018 Е.С. Климов<sup>1</sup>, М.В. Бузаева<sup>1</sup>, О.А. Давыдова<sup>1</sup>, Е.С. Ваганова<sup>1</sup>,  
И.А. Макарова<sup>1</sup>, Н.А. Бунаков<sup>2</sup>, Д.В. Козлов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ульяновский государственный технический университет

<sup>2</sup>Ульяновский государственный университет

Статья поступила в редакцию 10.11.2018

В статье рассмотрены результаты исследований по стабилизации и введению дисперсных систем, содержащих многостенные углеродные нанотрубки (МУНТ), в полимерные и металлические матрицы. Постановка задачи определяется необходимостью получения устойчивых дисперсных систем с углеродными нанотрубками (УНТ) в связи с уникальными свойствами углеродных наночастиц. Эти задачи осложняются сильной склонностью углеродных нанотрубок к агломерации и химической инертностью поверхности. Для активации поверхности УНТ применяют физические и химические методы: механическое и ультразвуковое воздействие, обработка сильными химическими окислителями. В работе использованы функционализированные многостенные нанотрубки с привитыми на поверхности карбоксильными и аминными группами. Функционализированные МУНТ, в отличие от нативных, образуют более устойчивые дисперсные системы в растворителях (этанол, мономеры) и могут быть введены в полимерную (полиметилметакрилат) и металлическую матрицу (алюминий). Разработаны методики введения МУНТ в эти матрицы с применением ультразвукового воздействия, методов термической обработки и метода искроплазменного спекания. Полиметилметакрилатный композит с МУНТ может служить прекурсором для переноса МУНТ из полимерной матрицы в металлическую.

*Ключевые слова:* Дисперсные системы, полимерная и металлическая матрица, полиметилметакрилат, алюминий, многостенные углеродные нанотрубки, методика.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 16-43-732026/16).*

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время углеродные нанотрубки (УНТ) получили широкое распространение для получения нового поколения композиционных материалов различного назначения [1-3]. Их широкий спектр применения основан на уникальных механических, электрических и термических свойствах наноструктур, что проявляется при включении нанотрубок в матрицы различных материалов и приводит к появлению новых структурно-реологических и физико-химических свойств композитов. В качестве матриц часто используются полимерные и металлические материалы.

*Климов Евгений Семенович, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой «Химия, технологии композиционных материалов и промышленная экология». E-mail: eugen1947@mail.ru*

*Бузаева Мария Владимировна, доктор химических наук, профессор кафедры «Химия, технологии композиционных материалов и промышленная экология». E-mail: m.buzaeva@mail.ru*

*Давыдова Ольга Александровна, доктор химических наук, доцент, профессор кафедры «Химия, технологии композиционных материалов и промышленная экология». E-mail: olga1103@inbox.ru*

*Ваганова Екатерина Сергеевна, кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры «Химия, технологии*

Одной из областей применения УНТ является армирование полимерных материалов. Полимерные композиционные материалы с углеродными наноструктурами в качестве наполнителя позволяют варьировать их физико-механические, электропроводящие свойства, термостойкость и другие эксплуатационные характеристики. В качестве полимерной матрицы обычно используются полиолефины, полиэферы, эпоксидные смолы. В качестве армирующего материала для полимеров наиболее перспективны углеродные наноструктуры, выполняющие роль наполнителя и катализатора полимеризации, что позволяет проводить синтез нанокомпозитов как при полимеризации мономеров на

*композиционных материалов и промышленная экология». E-mail: katrin\_sv@bk.ru*

*Макарова Ирина Алексеевна, старший преподаватель кафедры «Химия, технологии композиционных материалов и промышленная экология».*

*E-mail: gorlovskaya.irin@bk.ru*

*Бунаков Никита Андреевич, инженер-исследователь лаборатории материаловедения Научно-исследовательского технологического института им. С.П. Капицы. E-mail: math08@mail.ru*

*Козлов Дмитрий Владимирович, кандидат физико-математических наук, начальник лаборатории материаловедения Научно-исследовательского технологического института им. С.П. Капицы.*

поверхности модифицированных углеродных структур, так и нанесением из расплава или раствора полимера [4].

Металломатричные композиционные материалы достаточно успешно находят свое применение в различных областях науки и техники. В качестве матриц используются материалы на основе сплавов алюминия, титана, железа, кобальта; меди, никеля и бериллия [5-7]. В качестве упрочнителей металлических матриц используются частицы различных веществ, таких как SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiB<sub>2</sub>, B<sub>4</sub>C, TiC. Эти частицы, распределенные в металлических матрицах, увеличивают их модуль упругости, твердость, износостойкость и прочность при повышенных температурах.

Армирование обычно осуществляется по технологии порошковой металлургии или с участием жидкой фазы, где упрочняющие частицы непосредственно вводятся в твердую или жидкую матрицу. Имеется группа композиционных материалов, в которых металлические матрицы армированы упрочняющими частицами, образующимися на месте в результате определенных химических реакций [8], в этом случае сформированные фазы характеризуются высоким уровнем связи, а также высокой термической стабильностью, что в итоге обеспечивает более высокий уровень механических и специальных свойств композиционных материалов.

Нанокompозиты отличаются от обычных композиционных материалов благодаря значительно более развитой (на порядок и выше) площади поверхности частиц наполнителя. При этом отношение поверхность/объем для фазы наполнителя имеет очень высокие значения. В связи с этим свойства нанокompозитов в значительно большей степени, по сравнению с обычными композиционными материалами, зависят от морфологии частиц наполнителя и характера взаимодействия компонентов на поверхности раздела фаз. При этом частицы наполнителя должны иметь геометрический размер менее 100 нм хотя бы в одном измерении.

В практике получения композиционных материалов на основе твердой и жидкой фаз особое значение имеет приготовление устойчивой дисперсной системы, состоящей из твердой дисперсной фазы и дисперсионной среды. В качестве дисперсной фазы могут применяться твердые микрочастицы, в том числе и углеродные нанотрубки. В качестве дисперсионной среды применяются растворители, различные жидкости, в том числе и мономеры для получения полимерных материалов.

Для получения нанокompозитов с включением углеродных нанотрубок необходимо получить устойчивые дисперсные системы, содержащие многостенные углеродные нанотрубки (МУНТ),

и разработать методики введения дисперсий МУНТ в полимерную и металлическую матрицы, что и явилось целью данного исследования.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Синтез многостенных углеродных нанотрубок проводили на экспериментальной лабораторной установке по разработанной нами методике [9]. Получали МУНТ чистотой не менее 98 %, диаметром 40-60 нм, длиной несколько десятков мкм. Функционализацию МУНТ полярными карбоксильными группами (4,1 мас. %) проводили по методике, описанной в [10].

Для получения полимерных стекол использовали метилметакрилат (ММА): CH<sub>2</sub>=C(CH<sub>3</sub>)-C(O)-OCH<sub>3</sub>. Прозрачная жидкость, d=0.94 г/см<sup>3</sup>, T<sub>пл</sub> = -48°C, T<sub>кип</sub> = 101°C; ГОСТ 16756-71, CAS80-62-6. Использовали также порошок полиметилметакрилата: (ПММА), ГОСТ 10667-90.

В качестве термоинициатора реакции полимеризации брали 2,2-динитрил азо-изомасляной кислоты (ДАК). ДАК – бесцветный порошок, растворим в акриловых мономерах. CAS 78-67-1.

Диспергирование МУНТ в жидких средах (вода, растворитель, мономер) проводили с использованием ультразвуковой установки ИЛ 100-6/4, частота 22 кГц. В жидкость добавляли функционализированные карбоксильными группами МУНТ-СООН (Ф-МУНТ) в различных концентрациях, смесь обрабатывали ультразвуком до равномерного распределения твердой фазы в жидкости. За стабильную дисперсную систему принимали смесь, в которой не было разделения МУНТ и жидкости в течение длительного времени. При воздействии ультразвука система разогревается, в связи с чем проводили охлаждение смеси проточной холодной водой или льдом.

Отжиг смеси полимерного композита, содержащего Ф-МУНТ, и алюминия проводили в трубчатой кварцевой печи в токе аргона 850 мл/мин при разогреве печи от 25 до 600°C в течение 1 ч и выдерживания при 600°C в течение 1 ч. Нагрев прекращали, печь охлаждали в токе аргона до комнатной температуры.

В работе использовали порошок алюминия марки ПАД-6, СТО 22436138-006-2006. Чистота материала – 99,4 мас. %. Средний размер частиц составил 3 мкм. Для получения дисперсии нанотрубок и алюминиевого порошка, и последующего приготовления смесей использовали диспергатор УЗГ 12-0.1/22.

Спекание порошковых смесей проводилось при помощи установки ИПС LABOX 3010K, принцип работы которой заключается в пропускании электрического тока через пуансоны и пресс-форму, в которой находится образец, с одновременным приложением давления по односторонней схеме (метод ИПС).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

### Введение дисперсий МУНТ в полимерную матрицу.

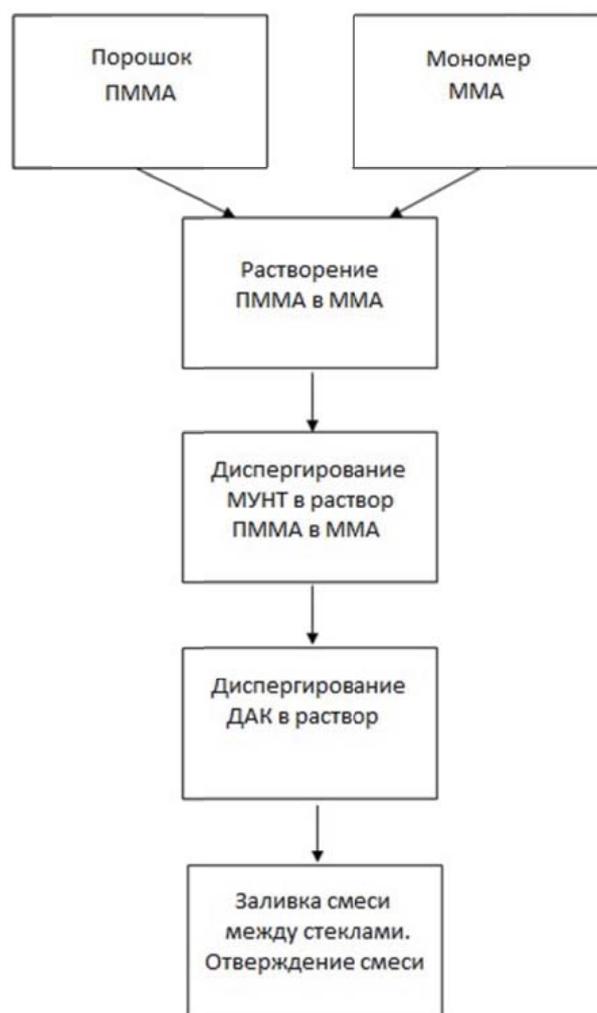
В настоящее время единой точки зрения на механизм образования дисперсной системы с участием наноразмерных структур не имеется. Все известные подходы основаны на размерности частиц и их способности совмещаться с матрицей. Применительно к углеродным наноструктурам, на первый план выступает строение углеродных нанотрубок и их химическая активность. Поверхность нанотрубок химически инертна и для решения конкретных технологических задач ее активируют физическими (ультразвуковое воздействие) и химическими методами, среди которых наибольшее распространение получил метод обработки сильными окислительными смесями с образованием на поверхности полярных групп (-ОН, =С=О, -СНО, -СООН). При активации происходит уменьшение размеров частиц, что способствует образованию устойчивой дисперсной системы. Однако при этом резко увеличивается удельная поверхность и способность углеродных нанотрубок к агломерации, значительно уменьшающей химическую активность поверхности и совмещение нанотрубок с матрицей материала.

Для диспергирования в матрицу материала наиболее перспективными по технологическим свойствам являются многостенные углеродные нанотрубки, функционализированные прививкой на поверхности полярных карбоксильных групп (МУНТ-СООН) и образующие устойчивую дисперсную систему с акриловыми мономерами. На образование устойчивой дисперсной системы оказывают влияние тип углеродных нанотрубок, содержание трубок в мономере, вязкость дисперсионной среды. Наиболее устойчивая дисперсия образуется при диспергировании МУНТ-СООН в вязкий раствор, полученный при растворении порошка полиметилметакрилата с собственном мономере – метилметакрилате. В этом случае введение в реакцию смеси термоинициатора и отверждение смеси протекают с сохранением устойчивости дисперсной системы и нанотрубки равномерно распределяются в образующейся полимерной матрице композита.

На основании проведенных исследований нами разработана методика введения дисперсной системы, содержащей Ф-МУНТ, в полимерную матрицу (полиметилметакрилат). Лабораторная технологическая схема получения композитного полимерного материала с включением МУНТ представлена на рис. 1.

Основные технологические операции следующие.

1. Приготовление раствора порошка ПММА в ММА. 3 г порошка полиметилметакрилата



**Рис. 1.** Схема лабораторной технологии получения полимерного композита с МУНТ

растворяли в 10 г свежеперегнанного метилметакрилата в течение 12 ч при комнатной температуре.

2. Диспергирование Ф-МУНТ в раствор ПММА в ММА проводили при ультразвуковой обработке в течение 30-60 с в зависимости от концентрации МУНТ в смеси при охлаждении реакционной смеси льдом.

3. Диспергирование ДАК в реакционную смесь. Рассчитанное количество термоинициатора ДАК добавляли при механическом перемешивании в реакционную смесь. Концентрация ДАК составила 0,5 мас. %.

4. Отверждение смеси. Реакционную смесь с помощью шприца заливали между силикатными стеклами размером 70 на 100 мм. Между стеклами по краям для герметизации помещали силиконовую прокладку толщиной 2 мм. Систему помещали в термостатированный шкаф. Отверждение проводили при 70°C в течение 3 ч. После охлаждения получены полимерные композиты в виде стек толщиной 2 мм.

Введение дисперсий МУНТ в металлическую матрицу.

На данный момент существует множество методов получения металломатричных композитов с добавлением МУНТ [5]: методы обработки расплава (литье, инфильтрация расплава), методы газотермического напыления (плазменное напыление, холодное напыление), электрохимические методы (электроосаждение, химическое осаждение), новые методы (смешивание порошков на молекулярном уровне, наномасштабная дисперсия, сэндвичная обработка, лазерное напыление).

Наиболее доступными и широко используемыми методами получения металломатричных композитов с МУНТ являются твердофазные методы порошковой металлургии (ПМ). Типовой технологический процесс изготовления образцов методом ПМ состоит из следующих основных операций: смешивание компонентов и их консолидация. Смешивание обычно происходит с применением механического легирования в мельницах различного типа, либо ультразвуковой обработкой компонентов в жидких средах.

Методы консолидации, основанные на спекании композитных порошков «металл-МУНТ», могут быть разделены следующим образом: 1- обычное спекание; 2- горячее прессование; 3- искро-плазменное спекание (ИПС). Работы по использованию метода ИПС для получения металлокомпозитов появились сравнительно недавно.

В качестве наиболее доступного и технологичного в качестве металлической матрицы был выбран алюминий, температура плавления которого составляет 660°C. Для алюминия характерны высокие показатели теплопроводности, теплоемкости и коррозионной стойкости, высокие технологические свойства, в том числе возможность широкого варьирования механических свойств за счет выбора систем легирования и режимов термических и термомеханических обработок.

Получение композиционных материалов с наноструктурами требует решения ряда технических задач: равномерное распределение наноструктур в матрице; создание условий, предотвращающих деструкцию наноструктур и образование нежелательных химических реакций при смешивании и консолидации композита.

Основываясь на проведении множества предварительных экспериментов и анализе литературных данных, для получения конечного продукта была разработана лабораторная технологическая схема получения алюминиевого композитного материала с включением Ф-МУНТ, представленная на рис. 2.

Использовали метод ИПС. Оптимальными

характеристиками спекания, при которых на поверхностях заготовок отсутствовали трещины, останавливался рост усадки, и относительная плотность компактов не демонстрировала существенного увеличения, были выбраны: давление 50 МПа на всем этапе спекания и нагрев со скоростью 40°C/мин до температуры 600°C с временем выдержки 20 мин.



**Рис. 2.** Схема лабораторной технологии получения металлокомпозита с МУНТ

Схема включает ряд следующих основных операций.

1. Смешивание компонентов. Для достижения однородной структуры материала и высоких механических свойств необходимо, чтобы распределение компонентов в порошковой смеси было равномерным. В связи с сильной агломерацией наноразмерных упрочняющих добавок был предложен способ приготовления смеси компонентов в несколько этапов.

- Подготовка дисперсии матричного порошка алюминия при ультразвуковой обработке в этаноле в течение 30 мин.

- Подготовка дисперсии МУНТ под воздействием УЗ в этаноле в течение 3 ч.

- Смешивание в этаноле дисперсий компонентов при УЗ-обработке в течение 1 ч.

- Высушивание смеси при 100 °C в течение 3 ч.

2. Формование и спекание. Получение готовых компактов проводили путем ИПС в вакууме с одновременным приложением механического давления. Использовался импульсный постоян-

ный ток, подаваемый группами из 12 импульсов, за которыми следовало 2 периода отключения. Длительность импульса составляла 3 мс, время отключения 2 мс.

- Навески порошковых смесей массами 7 г загружали в графитовую пресс-форму диаметром 2 см.

- Для предотвращения взаимодействия порошка с материалом пресс-формы, под основания пуансонов дополнительно подкладывалась графитовая фольга.

- После окончания процесса ИПС отключалась откачка воздуха, постепенно проводилось плавное снятие давления с пресс-формы. После остывания пресс-формы до комнатной температуры спеченные компакты выпрессовывались.

#### Введение МУНТ из полимерной матрицы в металлическую.

Одной из основных проблем при синтезе металломатричных композитов с УНТ является равномерное распределение наночастиц по объему матрицы. Одним из направлений является использование полимерной матрицы, содержащей наночастицы в качестве прекурсора для осаждения МУНТ в объеме металлической матрицы. В работе [11] порошки Al-МУНТ получали с помощью процесса нанодисперсии, особенность которого состояла в использовании натурального каучука в качестве прекурсора для осаждения и распределения МУНТ на частицах порошка алюминия ( $d=15\text{мкм}$ ).

Порошок натурального каучука и МУНТ смешивали в бензоле, добавляли порошок алюминия. Смесь обрабатывали в трубчатой печи в атмосфере аргона при  $500^\circ\text{C}$  для удаления каучука. Затем проводили спекание. Приложенное давление при ИПС составляло 50 МПа при максимальной температуре  $600^\circ\text{C}$  с выдержкой 20 мин.

Недостатком этого метода введения является образование примесей карбида алюминия и аморфного углерода в полученном материале, что может быть связано с разложением каучука до смеси различных продуктов.

Нами разработана методика введения МУНТ из полимерной матрицы в металлическую с использованием полиметилметакрилатного композита, допированного Ф-МУНТ в концентрациях до 3 мас. %. Известно, что ПММА нацело разлагается при  $250\text{--}300^\circ\text{C}$  с образованием только одного продукта – MMA [12]. Мы провели термическое разложение композита ПММА, содержащего Ф-МУНТ, при температуре  $270^\circ\text{C}$  в атмосфере азота в течение 90 мин. Продуктами разложения композита явились MMA и Ф-МУНТ.

На основании полученных результатов нами разработана методика перенесения МУНТ из полимерной матрицы в металлическую (рис. 3).

Схема включает ряд следующих операций.

1. Приготовление порошка из полиметилме-



Рис. 3. Схема введения МУНТ из полимерной матрицы в металлическую

такрилатного композита, содержащего Ф-МУНТ до 3 мас. %.

2. Совместное смешивание порошка композита и порошка алюминия в шаровой мельнице МЛ-1.

3. Температурная обработка смеси в трубчатой печи в токе аргона.

4. Формование и спекание смеси методом ИПС.

С применением разработанных методик были получены образцы наноматериалов с полтметилметакрилатной и алюминиевой матрицами. Для композитов ПММА-Ф-МУНТ предел прочности и микротвердости увеличивается в 2 раза. Эти результаты соответствуют лучшим аналогам, полученным в России и за рубежом [4, 13, 14].

Результаты, полученные при упрочнения алюминия Ф-МУНТ (увеличение предела прочности на 36 %, микротвердости на 20 %) также соответствуют лучшим достижениям исследований, проводимых в России и за рубежом [11, 15, 16].

## ВЫВОДЫ

1. Разработаны методики введения дисперсий многостенных углеродных нанотрубок в полиметилметакрилатную и алюминиевую матрицы.

2. Предложены технологические схемы получения полимерных и металлических нанокон-

позитов, содержащих функционализированные многостенные нанотрубки, с улучшенными механическими свойствами.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Sanchez F., Sobolev K.* Nanotechnology in Concrete – a Review // *Construction and Building Materials*. 2010. № 24 (11). P. 60-71.
2. *Лукашин А.В., Елисеев А.А., Третьякова Ю.Д.* Функциональные наноматериалы. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. 456 с.
3. *Дьячков П.Н.* Углеродные нанотрубки. Строение, свойства, применения. М.: Бином, 2006. 293 с.
4. *Микитаев А.К., Козлов Г.В., Заиков Г.Е.* Полимерные нанокомпозиты. Многообразие структурных форм и приложений. М.: Наука, 2009. 278 с.
5. *Kevorkijan V.M.* Aluminum composites for automotive applications: a global perspective // *JOM*. 1999. V. 11. P. 54-58.
6. *Maruyama B., Hunt W.H.* Discontinuously reinforced aluminum: current status and future direction. // *JOM*. 1999. V. 1. P. 59.
7. *Tang F., Anderson I.E., Biner S.B.* Solid state-sintering and consolidation of Al powders and Al matrix composites // *Journal of Light Metals*. 2002. V. 2. №. 4. P. 201-214.
8. Reaction squeeze cast processing and intermetallics dispersed aluminum matrix composites / *H. Fukunaga, G. Sasaki, I. Tsuchitori, T. Fujii, N. Fuyama* // *Proceedings of the 11th International Conference on Composite Materials (ICCM-11)*. Australia, 1997. V. 3. P. 182-191.
9. Некоторые аспекты синтеза многостенных углеродных нанотрубок химическим осаждением из паровой фазы и характеристики полученных материалов / *Е.С. Климов, М.В. Бузаева, О.А. Давыдова, И.А. Макарова, В.В. Светухин, Д.В. Козлов, Е.С. Пчелинцева, Н.А. Бунаков* // *Журнал прикладной химии*. 2014. Т. 87. № 8. С. 1128-1132
10. Изменение поверхности и некоторых технологических свойств углеродных нанотрубок при их модифицировании / *Е.С. Климов, О.А. Давыдова, М.В. Бузаева, И.А. Макарова, Н.А. Бунаков, А.А. Панов, А.А. Пыненков* // *Башкирский химический журнал*. 2014. Т. 21. № 3. С. 109-113.
11. *Kwon H., Kawasaki A.* Effect of Spark Plasma Sintering in Fabricating Carbon Nanotube Reinforced Aluminum Matrix Composite Materials // *Advances in Composite Materials for Medicine and Nanotechnology*. 2011. P. 431-444.
12. *Салимгареева В.Н., Колесов С.В.* Термическая деструкция и стабилизация полиметилметакрилата // *Известия вузов. Химия и химическая технология*. 2007. Т. 50. № 7. С. 3-11.
13. *Кирикова М.Н.* Физико-химические свойства функционализированных многостенных углеродных нанотрубок: дис. ... канд. хим. наук. Москва, 2009. 150 с.
14. *Choudhary V., Gupta A.* Polymer/Carbon Nanotube Nanocomposites, Carbon Nanotubes-Polymer Nanocomposites. 2011. ISBN: 978-953-30-498-6. InTech. Available from: <http://www.intechopen.com/books/carbon-nanotubes-polymer-nanocomposites/polymercarbon-nanotube-nanocomposites>.
15. *Огнев А.Ю.* Упрочнение алюминия и полимерных материалов углеродными нанотрубками: дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2011. 220 с.
16. Load-bearing contribution of multi-walled carbon nanotubes on tensile response of aluminum / *H. Kurita, M. Estili, H. Kwon, T. Miyazaki, W. Zhou, J-F. Silvain, A. Kawasaki* // *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2015. V. 68. P. 133-139.

## DEVELOPMENT OF METHODS FOR INTRODUCING DISPERSIONS OF MULTI-WALLED CARBON NANOTUBES INTO POLYMERIC AND METAL MATRIX

© 2018 E.S. Klimov<sup>1</sup>, M.V. Buzaeva<sup>1</sup>, O.A. Davydova<sup>1</sup>, E.S. Vaganova<sup>1</sup>,  
I.A. Makarova<sup>1</sup>, N.A. Bunakov<sup>2</sup>, D.V. Kozlov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ulyanovsk State Technical University

<sup>2</sup> Ulyanovsk State University

The article discusses the results of studies on the stabilization and introduction of dispersive systems containing multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) into polymer and metal matrices. The statement of the problem is determined by the need to obtain stable dispersed systems with carbon nanotubes (CNT) due to the unique properties of carbon nanoparticles. These tasks are complicated by the strong tendency of carbon nanotubes to agglomerate and the chemical inertness of the surface. To activate the surface of the CNT, physical and chemical methods are used: mechanical and ultrasonic action, treatment with strong chemical oxidants. We used functionalized multi-walled nanotubes with grafted carboxyl and amine groups on the surface. Functionalized MWCNTs, in contrast to the native ones, form more stable disperse systems in solvents (ethanol, monomers) and can be introduced into the polymer (polymethyl methacrylate) and metal matrix (aluminum). Techniques have been developed for introducing MWCNTs into these matrices using ultrasonic treatment, methods of heat treatment, and the method of spark plasma sintering. Polymethylmethacrylate composite with MWCNT can serve as a precursor for transferring MWCNTs from a polymer matrix to a metal one.

**Keywords:** Disperse systems, polymer and metal matrix, polymethyl methacrylate, aluminum, multi-walled carbon nanotubes, technique.

---

*Evgeny Klimov, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of the Department of Chemistry, Composite Materials Technology and Industrial Ecology.*

*E-mail: eugen1947@mail.ru*

*Maria Buzaeva, Doctor of Chemical Sciences, Professor of the Department the Department of Chemistry, Composite Materials Technology and Industrial Ecology. E-mail: m.buzaeva@mail.ru*

*Olga Davydova, Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Chemistry, Composite Materials Technology and Industrial Ecology. E-mail: olga1103@inbox.ru*

*Ekaterina Vaganova, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Chemistry, Composite Materials Technology and Industrial Ecology. E-mail: katrin\_sv@bk.ru*

*Irina Makarova, Lecturer, Department of Chemistry, Composite Materials Technology and Industrial Ecology. E-mail: gorlovskaya.irin@bk.ru*

*Nikita Bunakov, Research Engineer, Laboratory of Materials Science, Research Institute of Technology, named after S.P. Kapitsa. E-mail: math08@mail.ru*

*Dmitry Kozlov, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Head of the Laboratory of Materials Science, Research Institute of Technology, named after S.P. Kapitsa*