

ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМОДИФИКАТОРОВ В КОМПОЗИТАХ

М.А. Прохорова

mary.prokhorova@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Проанализированы тенденции применяемых технологий для повышения прочностных свойств материалов, используемых в различных отраслях промышленности и строительстве. Представлены примеры повышения эксплуатационных свойств путем интегрирования наномодификаторов в другие материалы при строительстве. Рассмотрены виды и классификации углеродных нанотрубок. Приведены примеры практического использования рассматриваемых наномодификаторов.

Ключевые слова

Композиты, углеродные нанотрубки, прочностные свойства материала, эксплуатационные свойства материала

Поступила в редакцию 10.05.2017

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

Исследования последних лет показали, что объем применения композиционных материалов в различных отраслях промышленности и строительстве увеличивается [1, 2]. При этом новые полученные материалы не должны отличаться по показателям качества от существующих современных аналогов. В соответствии с последними нормативными документами большое внимание уделяется экономичности применяемых материалов. Разработка перспективных эффективных материалов невозможна без модификации их свойств (прочности, влагостойкости и др.). Также следует учитывать, что себестоимость современных композиционных материалов строительного назначения в основном определяется стоимостью вяжущего вещества [2].

Одним из перспективных направлений развития композиционных материалов являются модификации вяжущих углеродными наносистемами, позволяющие добиться существенного улучшения механических характеристик за счет направленного изменения структуры матрицы исходного материала. Различные добавки значительно влияют на структуру и свойства материала, оказывая непосредственное влияние на морфологию, площадь межфазной поверхности, процессы гидратации и т. д. К числу таких современных модификаторов относят водные дисперсионные слюйных углеродных нанотрубок (МУНТ), влияние которых на минеральные вяжущие недостаточно исследовано.

Согласно [1], при использовании модифицирующих добавок на основе углеродных нанотрубок важна тщательная их дезинтеграция в водной среде. При этом значительное влияние на эффективность использования таких добавок оказывают их геометрические параметры. В работе [1] продемонстрировано, что применение МУНТ с разным соотношением диаметра и длины позволяет добиться увеличения прочности цементных паст до 269 %, по сравнению с контрольными образцами. Практически важным результатом является установленная связь между степенью

дисперсации МУНТ и прочностными показателями композиционных материалов строительного назначения.

На основе теоретических и экспериментальных исследований установлено, что при превышении оптимального значения концентрации нанотрубок (больше 0,001 %) наблюдается постепенное падение прочности, что связано с дефицитом вяжущего в граничных слоях и образованием повышенной пористости структуры [1].

В этой связи важной научной проблемой является определение критериев оценки качества МУНТ и эффективности их применения в зависимости от распределения частиц в дисперсиях углеродных нанотрубок.

Отметим также, что модификация структуры матрицы и наполнителя композиционных материалов позволяет добиться существенного повышения эксплуатационных характеристик силовых композитных конструкций. В работах [3–6] практическую значимость представляет тот факт, что наномодифицирование связующего перед пропиткой наполнителя позволяет повысить технологические свойства матрицы, тем самым, понижая газопроницаемость композиционных материалов в процессе растяжения.

В работах [7, 8] отмечается, что в зависимости от разновидности технологии получения МУНТ возможно добиться повышения прочности матрицы композиционного материала на 30–50 %, что также способствует понижению газопроницаемости конструкций из композиционных материалов.

Согласно прогнозу корпорации «Роснано» относительно использования нанокompозитов в 2019 году, композиционные материалы будут пользоваться огромным спросом в разных отраслях производства (рис. 1).



Рис. 1. Прогноз использования нанокompозитов в разных отраслях производства на 2019 г., % (по данным «Роснано»)

Таким образом, можно сделать вывод, что получение наносuspензий является важной технико-технологической задачей в отрасли производства композиционных материалов. Но в чем же заключается сущность нанотрубок? Рассмотрим этот вопрос более подробно.

Углеродные нанотрубки — это один из классов модификаций углерода, представляющий собой молекулярные соединения. Геометрически их можно представить как цилиндрические структуры, диаметр которых колеблется между одним и несколькими десятками нанометров, а длина — от одного до нескольких микрон. Углеродные нанотрубки классифицируют по количеству составляющих их слоев. Существуют однослойные и многослойные нанотрубки. Простейшим видом нанотрубок считают однослойные, имеющие диаметр около 1 нм и длину, во много раз превышающую их диаметр. Структура этих трубок напоминает структуру половины молекулы фуллерена (рис. 2) [7].

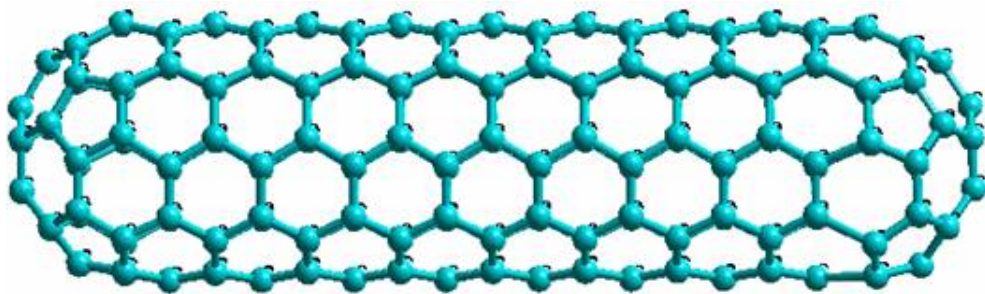


Рис. 2. Идеализированная структура однослойной нанотрубки

Многослойные нанотрубки состоят из нескольких слоев графена, сложенных в форме трубки по типу «матрёшки» (рис. 3, а) или по типу «свитка» (рис. 3, б). Однако, как утверждается в [10], такие формы являются слишком правильными и их сложно синтезировать, поэтому модели строения многослойных нанотрубок все чаще обозначают как «папье-маше» (рис. 3, в). Расстояние между слоями графена по последним данным равно 0,34 нм. Такое же расстояние отмечается между слоями в кристаллическом графите [7].

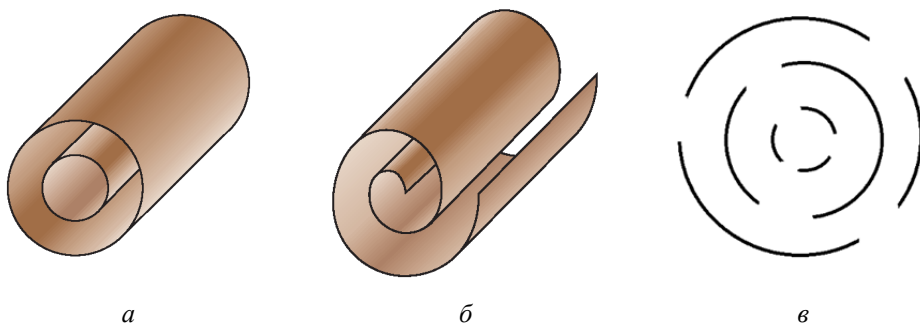


Рис. 3. Структура МУНТ:

а — тип «матрёшка»; б — тип «свиток»; в — тип «папье-маше»

Методы синтеза углеродных нанотрубок различны. В условиях лаборатории наиболее распространенным является дуговой синтез, в основе которого лежит термическое распыление графитового электрода в плазме дугового разряда, горящей в атмосфере гелия [8].

Последние исследования в этой области показали, что также хорошо зарекомендовали себя такие методы, как лазерное распыление, каталитическое разложение углеводородов, электролитический синтез, конденсационный метод и метод конструктивного разрушения [9]. Такой спектр синтезирования обусловлен широкой областью применения данных углеродных наноструктур.

Попробуем разобраться, где же на практике применяют углеродные нанотрубки. Высокая электрическая проводимость и очень малые поперечные размеры позволяют использовать углеродные нанотрубки в качестве полезных эмиссий, применяемых в дисплеях и экранах. Например, корейская корпорация Samsung разработала плоский дисплей, использующий электронную эмиссию углеродных нанотрубок. Известно, что углеродные структуры обладают высокой электропроводимостью, они почти не пропускают электромагнитные волны, поэтому композиционный пластик с нанотрубками, экранирующий электромагнитное излучение, применяется в военной сфере. Также углеродные нанотрубки довольно популярны в качестве топливных элементов, катализаторов некоторых химических реакций, квантовых проводов, химических сенсоров и светодиодов. Хотя массовое производство еще не налажено из-за проблемы контроля заданных размеров и параметров нанотрубок, в ближайшее время ожидаются крупные инвестиции в разработки чипов, микропроцессоров и других электронных элементов с использованием нанотранзисторов. На основании сказанного выше и полученных результатов можно сделать вывод о том, что в скором будущем без применения нанотрубок не обойдется ни одно электронное устройств, изготовление ни одного высокопрочного материала.

Литература

- [1] Хрусталеv Б.М., Леонович С.Н., Якимович Б.А., Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Полянских И.С., Пудов И.А., Хазеев Д.Р., Шайбадуллина А.В., Гордина А.Ф., Али Эль Саид Мохамед, Керене Я. Дисперсии многослойных углеродных нанотрубок в строительном материаловедении. *Наука и техника*, 2014, № 1, с. 44–52.
- [2] Яковлев Г.И., Гордина А.Ф., Полянских И.С., Токарев Ю.В., Первушин Г.Н., Салтыков А.А., Бекмансуров М.Р. Направленное управление структурой и свойствами гипсовых композиций. *Перспективные материалы в строительстве и технике (ПМСТ-2014). Матер. Междунар. науч. конф. молодых ученых*. 2014, с. 60–67.
- [3] Тарасов В.А., Степанищев Н.А. Применение нанотехнологий для упрочнения полиэфирной матрицы. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2010, спец. вып. «Актуальные проблемы развития РКТ и систем вооружения», с. 207–217.
- [4] Тарасов В.А., Степанищев Н.А. Упрочнение полиэфирной матрицы углеродными нанотрубками. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение*, 2010, спец. вып. «Наноинженерия», с. 53–65.

- [5] Тарасов В.А., Степанищев Н.А., Боярская Р.П. Методика экспериментального определения характеристических моментов времени технологического процесса приготовления наносuspensions в условиях ультразвукового воздействия. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, спец. вып. «Энергетическое и транспортное машиностроение», 2011, с. 112–120.
- [6] Тарасов В.А., Степанищев Н.А., Романенков В.А., Алямовский А.И. Повышение качества и технологичности полиэфирной матрицы композитных конструкций на базе ультразвукового наномодифицирования. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2012, спец. вып. № 3 «Прогрессивные материалы, конструкции и технологии ракетно-космического машиностроения», с. 166–174.
- [7] Cadek M., Coleman J.N., Ryan K.P., Nicolosi V., Bister G., Fonseca A., Nagy J.B., Szostak K., Béguin F., Blau W.J. Reinforcement of polymers with carbon nanotubes: the role of nanotube surface area. *Nano Letters*, 2004, vol. 4, no. 2, pp. 353–356.
- [8] Bai J. Evidence of the reinforcement role of chemical vapour deposition multi-walled carbon nanotubes in a polymer matrix. *Carbon*, 2003, vol. 41, no. 6, 2003, pp. 1325–1328.
- [9] *Углеродные нанотрубки: виды и области применения.*
URL: <http://www.cleandex.ru/articles/2007/12/10/nanotubes-carbon> (дата обращения 12.04.2017).
- [10] Раков Э.Г. Методы получения углеродных нанотрубок. *Успехи химии*, 2000, т. 69, № 1, с. 41–59.
- [11] URL: <http://refleader.ru/merbewbewqas.html> (дата обращения 12.04.2017).

Прохорова Мария Алексеевна — студентка кафедры «Технологии ракетно-космического машиностроения», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — А.И. Карнюшкин, канд. техн. наук, доцент кафедры «Химия», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

APPLICATION OF CARBON NANOMODIFIATORS IN COMPOSITES

M.A. Prokhorova

mary.prokhorova@mail.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The purpose of the study was to analyze the tendencies of applied technologies for increasing the strength properties of materials used in various industries and construction. We provide examples of improving the performance properties by integrating nanomodifiers into other materials during the construction process. Moreover, we consider the types and classifications of carbon nanotubes and give examples of practical use of the nanomodifiers under study.

Keywords

Composites, carbon nanotubes, strength properties of the material, performance properties of the material

© Bauman Moscow State Technical University, 2017

References

- [1] Khrustalev B.M., Leonovich C.N., Yakimovich B.A., Yakovlev G.I., Pervushin G.N., Polyanchikh I.C., Pudov I.A., Khazeev D.R., Shaybadullina A.V., Gordina A.F., Ali El' Caid Mokhamed, Kerene Ya. Dispersion of multi-walled carbon nanotubes in building science of materials. *Nauka i tekhnika* [Science and Technique], 2014, no. 1, pp. 44–52.
- [2] Yakovlev G.I., Gordina A.F., Polyanchikh I.C., Tokarev Yu.V., Pervushin G.N., Caltikov A.A., Bekmancurov M.R. Napravlennoe upravlenie strukturoy i svoystvami gipsovykh kompozitsiy [Directional control on structure and properties of gypsum compositions]. *Perspektivnye materialy v stroitel'stve i tekhnike (PMST-2014). Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii molodykh uchenykh* [Future-oriented materials in construction activity and technique (PMST-2014). Proc. int. sci. conf. of young scientists]. 2014, pp. 60–67.
- [3] Tarasov V.A., Stepanishchev N.A. The use of nanotechnology for reinforcement the polyester matrix of a composite material. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Mashinostroenie* [Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Mechanical Engineering], spec. iss. "Actual problems of space-rocket and weapon system development", 2010, pp. 207–217.
- [4] Tarasov V.A., Stepanishchev N.A. Hardening of polyester matrix of carbon nanotubes. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Priborostroenie* [Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Ser. Instrument Engineering], 2010, spec. iss. "Nanoengineering", pp. 53–65.
- [5] Tarasov V.A., Stepanishchev N.A., Boyarskaya R.P. Experimental technique for time characteristic moments definition of nanosuspension manufacturing technology process under ultrasonic exposure. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Mashinostroenie* [Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Mechanical Engineering], 2011, spec. iss. "Energetic and transport machine building", pp. 112–120.
- [6] Tarasov V.A., Stepanishchev N.A., Romanenkov V.A., Alyamovskiy A.I. Quality and technological properties improvement of a polyester matrix of composite designs on the basis of ultrasonic nanomodifying. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Mashinostroenie* [Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Mechanical Engineering], 2012, spec. iss. no. 3 "Progressive materials, constructions and technologies of rocket-space machine building", pp. 166–174.

- [7] Cadek M., Coleman J.N., Ryan K.P., Nicolosi V., Bister G., Fonseca A., Nagy J.B., Szostak K., Béguin F., Blau W.J. Reinforcement of polymers with carbon nanotubes: the role of nanotube surface area. *Nano Letters*, 2004, vol. 4, no. 2, pp. 353–356.
- [8] Bai J. Evidence of the reinforcement role of chemical vapour deposition multi-walled carbon nanotubes in a polymer matrix. *Carbon*, 2003, vol. 41, no. 6, 2003, pp. 1325–1328.
- [9] Углеродные нанотрубки: виды и области применения [Carbon nanotubes: types and application fields]. Available at: <http://www.cleandex.ru/articles/2007/12/10/nanotubes-carbon> (accessed 12 April 2017).
- [10] Rakov E.G. Methods for preparation of carbon nanotubes. *Uspekhi khimii*, 2000, vol. 69, no. 1, pp. 41–59. (Eng. version of journal: *Russian Chemical Reviews*, 2000, vol. 69, no. 1, 35–52.
- [11] URL: <http://refleader.ru/merbewbewqas.html> (accessed 12 April 2017).

Prokhorova M.A. — student, Department of Rocket-and-Space Engineering Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — A.I. Karnyushkin, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Chemistry, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.