

УДК 621.762; 691.002 (032)

ДИСПЕРСИИ МНОГОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК В СТРОИТЕЛЬНОМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ

*Акад. НАН Беларуси, докт. техн. наук, проф. ХРУСТАЛЁВ Б. М.¹⁾,
доктора техн. наук, профессора ЛЕОНОВИЧ С. Н.¹⁾, ЯКИМОВИЧ Б. А.²⁾, ЯКОВЛЕВ Г. И.²⁾, ПЕРВУШИН Г. Н.²⁾,
аспиранты ПОЛЯНСКИХ И. С.²⁾, ПУДОВ И. А.²⁾, ХАЗЕЕВ Д. Р.²⁾, ШАЙБАДУЛЛИНА А. В.²⁾,
ГОРДИНА А. Ф.²⁾, АЛИ ЭЛЬ САИД МОХАМЕД²⁾, канд. техн. наук, доц. КЕРЕНЕ Я.³⁾*

¹⁾Белорусский национальный технический университет,

²⁾Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова,

³⁾Вильнюсский технический университет имени Гедиминаса

E-mail: sleonovich@mail.ru

DISPERSION OF MULTI-WALLED CARBON NANOTUBES IN BUILDING SCIENCE OF MATERIALS

*KHROUSTALEV B. M.¹⁾, LEONOVICH S. N.¹⁾, YAKIMOVICH B. A.²⁾, YAKOVLEV G. I.²⁾,
PERVUSHIN G. N.²⁾, POLYANSKIKH I. S.²⁾, PUDOV I. A.²⁾, HAZEEV D. R.²⁾,
SHAYBADULLINA A. V.²⁾, GORDINA A. F.²⁾; ALI EL SAYED MOHAMED²⁾, KERIENE Ja.³⁾*

¹⁾Belarusian National Technical University,

²⁾Izhevsk State Technical University named after M. Kalashnikov,

³⁾Vilnius Gediminas Technical University

В статье показано, что модификация вяжущих матриц дисперсиями многослойных углеродных нанотрубок позволяет повысить физико-механические характеристики строительных композитов.

Ключевые слова: многослойные углеродные нанотрубки, дисперсия, новообразования, вяжущие матрицы.

Ил. 14. Табл. 1. Библиогр.: 11 назв.

The paper presents that modification of binding matrices with the help of dispersions of multi-walled carbon nanotubes (MWCNT) makes it possible to increase physical and mechanical properties of building composites.

Keywords: multi-walled carbon nanotubes, dispersion, new formation, binding matrices.

Fig. 14. Tab. 1. Ref.: 11 titles.

Введение. Себестоимость композиционных материалов строительного назначения в основном определяется стоимостью вяжущего. В то же время применяемые вяжущие имеют существенный потенциал в повышении механических характеристик за счет направленного изменения структуры матрицы при модификации протяженными углеродными наносистемами.

В технической литературе имеются исследования, в которых показано, что минеральные вяжущие матрицы способны повысить свою прочность в 2–3 раза при введении в состав цементной матрицы углеродных наносистем. При этом, несмотря на многочисленные рабо-

ты, описывающие структуру и свойства вяжущих матриц, модифицированных углеродными нанотрубками, до сих пор не установлен механизм воздействия на их структуру добавок, содержащих углеродные частицы нанометрового размера (рис. 1).

Модификация вяжущих матриц дисперсиями многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ) позволяет повысить физико-механические характеристики строительных композитов за счет структуризации новообразований, морфология которых зависит, прежде всего, от степени равномерного распределения углеродных нанотрубок в объеме вяжущей матрицы.

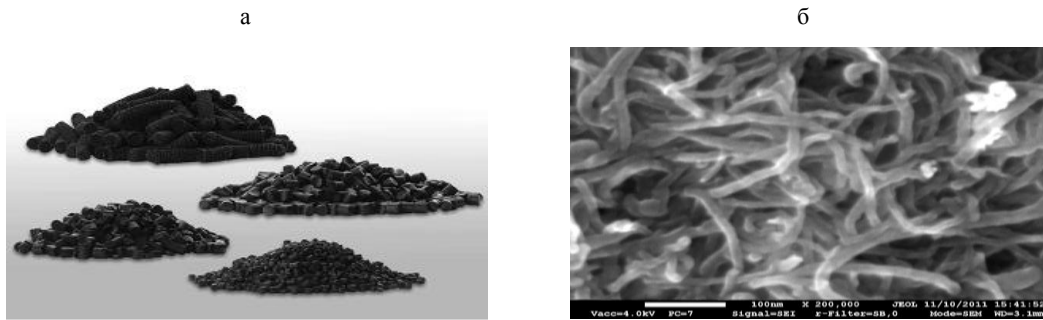


Рис. 1. Промышленные образцы углеродных нанотрубок с привитыми функциональными группами на основе карбоксиметилцеллюлозы из серии Masterbatch CW2-45:
а – общий вид; б – при 200000-кратном увеличении

Важными моментами при использовании модифицирующих добавок на основе углеродных нанотрубок являются тщательная их дезинтеграция в водной среде (рис. 2) и подбор вида поверхностно-активных веществ, обеспечивающих стабильность дисперсии при транспортировании и хранении. Приведенные на рис. 2а данные дисперсионного анализа частиц были получены на лазерном анализаторе Noryba Analyzer LA-950, который способен определять размеры компактных непротяженных частиц, что привносит погрешности при установлении истинных размеров углеродных наночастиц в водной дисперсии.

Проведенный параллельно анализ дисперсий, полученных с использованием высокоскоростных смесителей на лазерном анализаторе CILAS 1090 Liquid, показал наличие в водной дисперсии, кроме частиц в микрометровом диапазоне, частиц со средним размером 230 нм – до 20 % от всего объема. Анализ дисперсий МУНТ выявил необходимую устойчивость их в течение семи дней после приготовления.

Структурирование вяжущих матриц углеродными нанотрубками как в бетонах плотной [1], так и поризованной [2–4] структур показало высокую эффективность модификации строительных композитов наноструктурированными добавками. В статье зарубежных исследователей [5] показана возможность существенного изменения физико-механических свойств цементных бетонов добавками сверхмалых доз (0,006–0,042 % от массы вяжущего) диспергированных многослойных углеродных нанотрубок. При этом значительное влияние на эффективность использования углеродных нанотрубок оказывают их геометрические параметры. В [6] показано, что использование МУНТ с разным соотношением между их диаметром и длиной позволяет получить прирост прочности цементных паст до 269 % в сравнении с контрольными образцами. Основные параметры по модификации минеральных вяжущих матриц и керамики дисперсиями МУНТ описаны в [7].

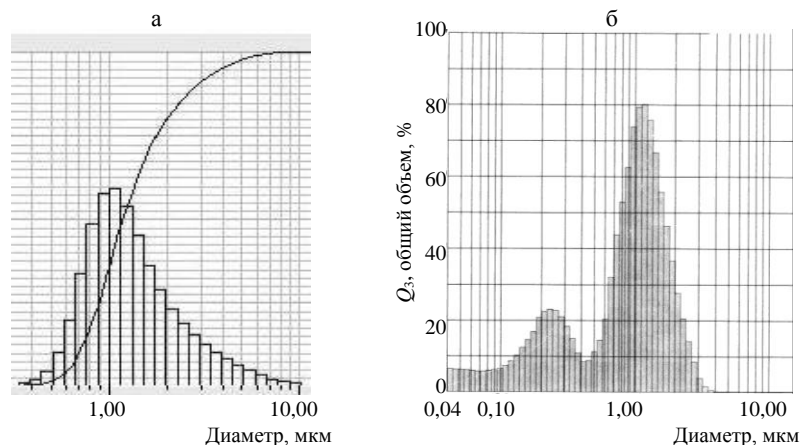


Рис. 2. Результаты диспергации углеродных нанотрубок Masterbatch CW2-45:
а – на лазерном анализаторе Noryba Analyzer LA-950 (через четыре дня хранения средний диаметр частиц составлял 1198 нм); б – распределение частиц в дисперсии углеродных нанотрубок, определенное на лазерном анализаторе CILAS 1090 Liquid (через семь дней хранения)

Цементные бетоны. Введение дисперсии углеродных нанотрубок приводит к структурированию цементной матрицы в плотных бетонах с образованием плотной бездефектной оболочки по поверхности твердых фаз (включая частицы цемента и заполнителя), обеспечивающей лучшее сцепление с их поверхностью. Анализ микроструктуры модифицированных цементных бетонов при больших увеличениях показал, что в контактной зоне цементной матрицы без модифицирующих углеродных нанотрубок наблюдаются малосвязанные кристаллы гидросиликатов кальция, а контактная зона имеет дефекты структуры (рис. 3а). Структурирование цементной матрицы после введения дисперсии углеродных нанотрубок приводит к формированию плотной оболочки толщиной от 1 до 5 мкм с морфологией кристаллогидратов,

ориентированных вертикально к поверхности твердой фазы (рис. 3б).

Модифицированные дисперсией МУНТ цементные бетоны были реализованы при производстве опытно-промышленной партии предварительно напряженных железобетонных опор для линий электропередачи ВЛ 0,4–10,0 кВ длиной 9,0 и 11,0 м.

Проведенные испытания модифицированного бетона в опытной партии железобетонных опор показали повышение его морозостойкости с марки F150 до F400 (рис. 4б), прочности – на 46 %, водонепроницаемости – с W6 до W14, а также улучшение его трещиностойкости. Приведенные результаты физико-механических свойств бетона позволяют повысить долговечность железобетонных изделий.

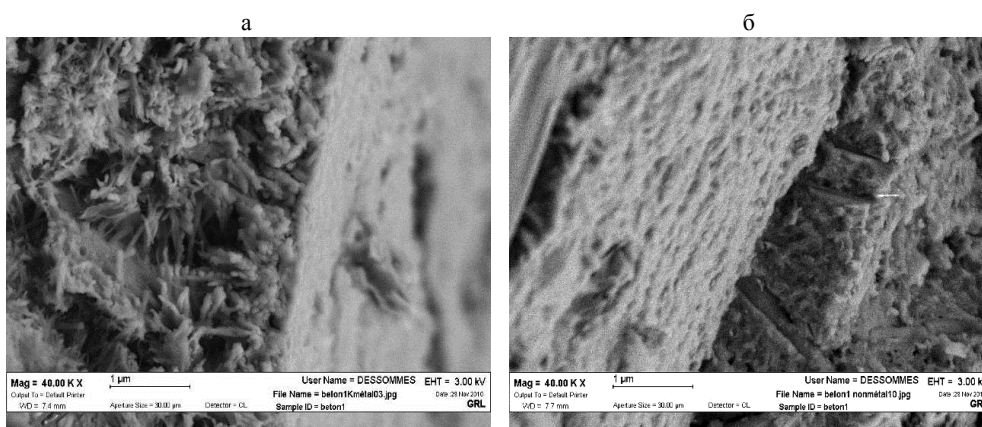


Рис. 3. Морфология новообразований в цементной матрице: а – без углеродных нанотрубок; б – модифицированной дисперсией углеродных нанотрубок

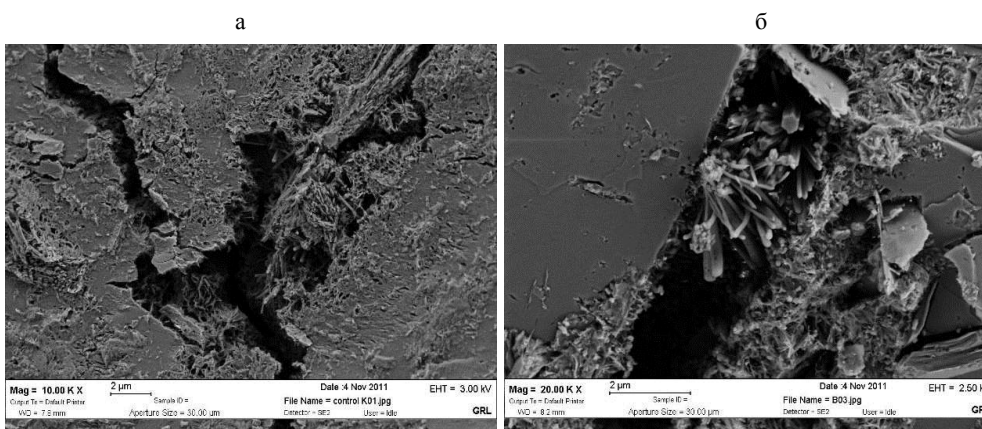


Рис. 4. Микроструктура цементной матрицы после испытания на морозостойкость: а – контрольный образец (F150); б – опытный образец, модифицированный дисперсией углеродных нанотрубок (F400)

Ячеистые бетоны. Повышение механических и теплофизических характеристик может быть достигнуто модификацией макро- и микро-структуры силикатных газобетонов автоклавного твердения дисперсиями МУНТ. Для достижения поставленной задачи необходимо решить две проблемы, которые являются основным условием получения газобетона с улучшенными физико-техническими свойствами.

Первая проблема связана с получением устойчивой дисперсии МУНТ с максимальным разделением исходных гранул на дискретные волокна нанометровых размеров. Вторая проблема – это равномерное распределение углеродных нанотрубок в объеме газобетонной смеси, при этом МУНТ должны обеспечивать формирование модифицированной структуры силикатной матрицы в межпоровых перегородках газобетона созданием центров кристаллизации новообразований.

Содержание модифицирующих МУНТ соответствовало 0,006 % от массы вяжущего. В пересчете на массу 1 м³ газобетона при расходе вяжущего 300 кг расход нанотрубок составил 18 г. Такая гомеопатическая доза МУНТ

должна быть при этом равномерно распределена в объеме газобетонной смеси. Однородное распределение частиц во всем объеме приготовленной смеси газобетона достигалось при предварительном совместном смешивании алюминиевой суспензии и дисперсии МУНТ. При перемешивании этих компонентов достигается получение однородной, не подвергающейся седиментации, суспензии, которая вводится в известково-песчаную смесь при ее перемешивании в смесителе.

Сравнительный анализ макроструктуры пор в силикатном газобетоне показывает, что применение дисперсий МУНТ позволяет стабилизировать макроструктуру, при этом отмечаются лучшая однородность пор по размерам, отсутствие «перколяции» пор (рис. 5б), что неизбежно должно повлиять как на прочность, так и на теплофизические характеристики газобетона.

Микроструктура контрольных образцов (рис. 5а) характерна повышенной неоднородностью структуры межпоровой перегородки, что приводит к их низкой прочности и соответственно к пониженной прочности изделий из газобетона (табл. 1).

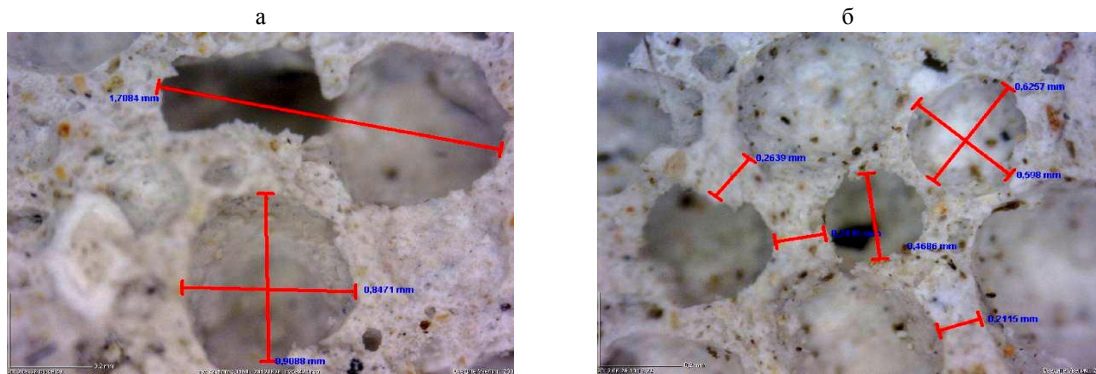


Рис. 5. Макроструктура пор в газобетоне при 50-кратном увеличении: а – без дисперсии МУНТ; б – модифицированном дисперсией МУНТ

Таблица 1

Физико-механические показатели модифицированного газобетона

| Наименование изделия | Плотность в сухом состоянии, кг/м ³ | | Прочность на сжатие в сухом состоянии, МПа | | Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С) | |
|--------------------------------|--|------------------------|--|------------------------|---|------------------------|
| | Изделие с нанотрубками | На филиале «ЗЯБ № 822» | Изделие с нанотрубками | На филиале «ЗЯБ № 822» | Изделие с нанотрубками | На филиале «ЗЯБ № 822» |
| Блок D500, 13.06.2012 | 562 | 557 | 3,7 | 3,4 | 0,1114 | 0,1148 |
| Панель домостроения Н 32.14-8т | 562 | 557 | 4,0 | 3,6 | 0,1143 | 0,1240 |
| Панель домостроения Н 26.14т | 543 | 543 | 3,6 | 3,3 | 0,1003 | 0,1070 |

Исходя из снимков микроструктуры модифицированного газобетона, можно предположить, что углеродные нанотрубки служат центрами кристаллизации гидросиликатов кальция в твердеющем газобетоне и стимулируют формирование структуры твердеющего известково-силикатного вяжущего с высокой кристалличностью в сравнении с бездобавочным контрольным образцом. Уплотнение и повышение кристалличности наблюдаются в стенках пор (рис. 6а), при этом наряду с кристаллическими образуются аморфные новообразования (рис. 6б), дополнительно уплотняющие и упрочняющие стенки пор в газобетоне.

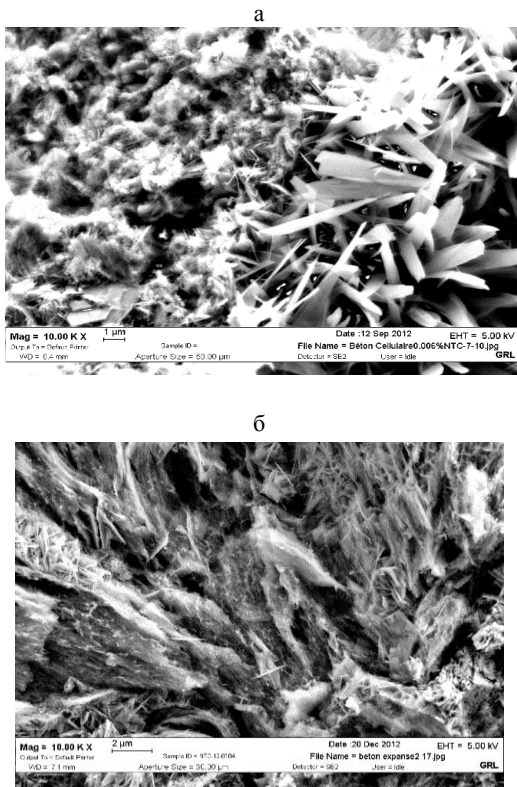


Рис. 6. Микроструктура газобетона, модифицированного дисперсией МУНТ при 10000-кратном увеличении:
 а – общий вид межпоровой перегородки;
 б – фрагмент микроструктуры
 со спутано-волокнистыми новообразованиями

Гипсобетоны, модифицированные многослойными углеродными нанотрубками совместно с ультрадисперсной добавкой на основе металлургической пыли. Свойства гипсовых материалов во многом определяются состоянием и структурой матрицы. Различные добавки существенно влияют на протекание

гидратации и формирование структуры гипсовых вяжущих: изменяют размер и морфологию кристаллов, состояние межфазной поверхности, пористость. Особенно эффективно использование углеродных наноструктур в сочетании с ультрадисперсными добавками, введение которых приводит к более глубоким преобразованиям в структуре затвердевшего гипсового камня. В качестве ультрадисперсной добавки использовали металлургическую (колошниковую) пыль, образующуюся при производстве стали. Дисперсионный анализ добавки показал, что средний размер частиц представлен 20–30 мкм (рис. 7).

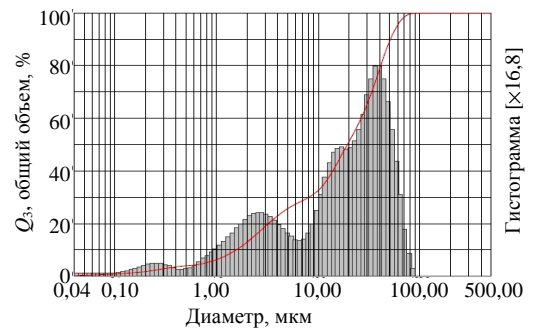


Рис. 7. Дисперсионный анализ металлургической пыли на лазерном анализаторе CILAS 1090 Liquid

Рентгенофазовый анализ металлургической пыли показал (рис. 8), что наибольшие по интенсивности пики на рентгенограмме соответствуют оксиду железа (II, III) ($d_{\alpha} = 2,98; 2,54; 2,10; 1,48 \text{ \AA}$) и гидроксиду кальция ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ($d_{\alpha} = 4,93; 2,63; 1,92; 1,70 \text{ \AA}$), что свидетельствует об их значительном содержании в добавке.

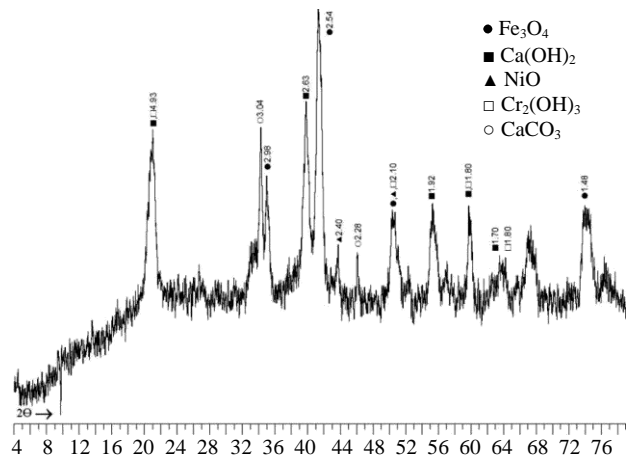


Рис. 8. Рентгеновский спектр металлургической пыли

Углеродные наноструктуры выступают как центры кристаллизации, по поверхности которых происходит формирование упорядоченной плотной структуры с блочной упаковкой кристаллов (рис. 9б). Наличие в колошниковой пыли гидроксида кальция приводит к формированию аморфной фазы на поверхности кристаллов гипса. Так, в [8] авторы создавали условия для формирования аморфных покрытий гипсовых кристаллогидратов, блокирующих прямое воздействие воды на структуру гипсовых вяжущих матриц. В итоге достигается повышение физико-механических показателей гипсовой матрицы до 80 % при оптимальном содержании углеродных нанотрубок в количестве 0,001 и 0,400 % колошниковой пыли от массы гипсового вяжущего (рис. 10).

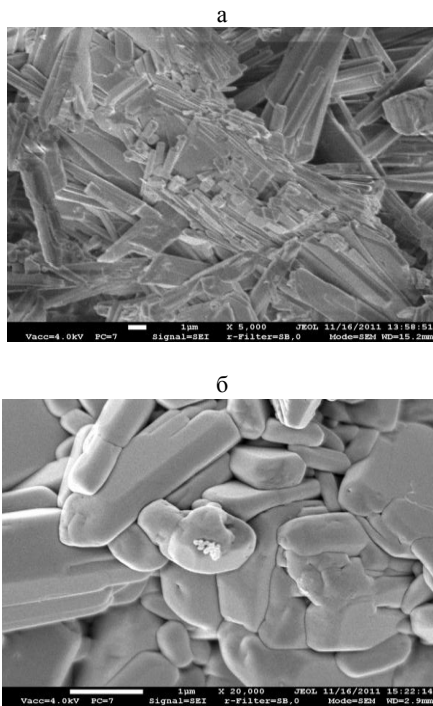


Рис. 9. Микроструктура затвердевшей гипсовой матрицы:
а – без углеродных нанотрубок;
б – модифицированная дисперсией многослойных углеродных нанотрубок

Вероятно, аморфная составляющая на поверхности кристаллов гипса уменьшает «расклинивающий» эффект от воздействия водных прослоек, которому вменяют снижение водостойкости гипсовых материалов.

Анализ результатов механических испытаний показал, что введение углеродных нанотрубок в гипсовые вяжущие матрицы до 0,001 % способствует увеличению прочности на сжатие, но при

дальнейшем повышении концентрации наблюдается постепенное снижение механических показателей гипсового камня. Углеродные нанотрубки, обладая высокой поверхностной энергией и являясь центрами кристаллизации, ускоряют кристаллизацию новообразований. Однако при превышении оптимального значения нанотрубок (более 0,001 %) наблюдается постепенное падение прочности, что связано с дефицитом гипсового вяжущего для высокоразвитой поверхности углеродных нанотрубок.

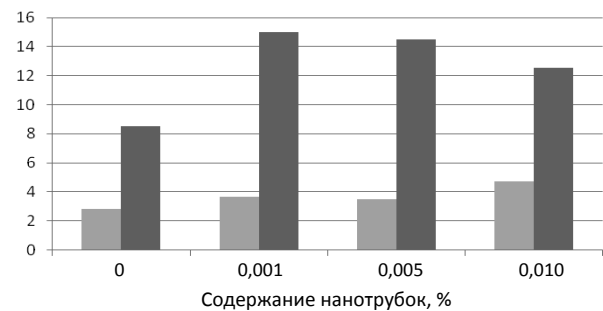


Рис. 10. Прочность гипсовой матрицы с добавлением МУНТ при содержании колошниковой пыли 0,400 % от массы гипсового вяжущего:

■ – предел прочности на изгиб, МПа;
■ – то же на сжатие, МПа

Строительная керамика. Существует ряд проблем, ограничивающих использование углеродных нанотрубок при производстве керамики [9]. В первую очередь это сложность разделения пучков нанотрубок и их равномерного распределения по объему шихты. Влияние углеродных нанотрубок на процесс спекания и микроструктуру получаемого материала детально не изучено. Известно также, что при температурах свыше 600 °С углеродные нанотрубки подвергаются окислению при доступе кислорода (рис. 11), что требует при обжиге керамики, модифицированной углеродными нанотрубками, восстановительной среды для исключения выгорания нанотрубок.

Проблема окисления нанотрубок при обжиге керамики может быть решена за счет использования восстановительной среды при спекании или шихты при производстве конструкционной керамики, которая способна вытеснить кислород при выделении продуктов термической деструкции (пары кристаллогидратной воды, оксид углерода). При проведении исследований керамики, модифицированной МУНТ, использовали шихту с соотношением глины и песка 1:3.

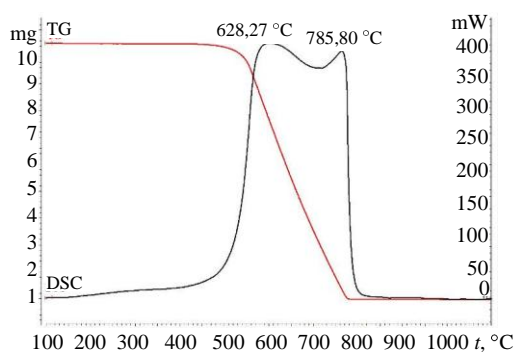


Рис. 11. Дифференциально-термический анализ углеродных нанотрубок в окислительной среде

Многослойные углеродные нанотрубки ввели в глиняный раствор в виде 2%-й водной дисперсии. Формовали образцы-кубики со стороной 20 мм на пористой подложке. Через сутки выдержки образцов в формах высушивали их при температуре 105 °С в сушильной камере в течение 24 ч.

Дифференциально-термический анализ шихты, модифицированной дисперсией углеродных нанотрубок (рис. 12б), показал интенсификацию экзотермического эффекта в области температуры 360 °С, связанную с выгоранием карбоксиметилцеллюлозы, входящей в состав дисперсии. При температуре 575 °С отмечен эндотермический эффект, который возникает с перестройкой кристаллической решетки

кварца. Основные процессы, связанные с потерей массы образцов, стабилизируются в области температуры 750 °С, при которой завершаются дегидратация глинистых минералов и выгорание углерода, образующегося при выгорании органики, включая ПАВ на поверхности углеродных нанотрубок.

Анализ механических показателей высушенного сырца и обожженной керамики показал, что введение многослойных углеродных нанотрубок в количестве 0,005 % от массы глины повышает прочность сырца с 4,6 до 8,6 кг/см², а прочность керамического черепка – в 2,4 раза.

Анализ микроструктуры обожженной керамики показывает, что введение МУНТ в состав керамической шихты в количестве 0,005 % существенно изменяет структуру спеченного керамического черепка [10]. При обжиге керамики углеродные нанотрубки, улучшая спекание при небольших концентрациях, увеличивают объем аморфной фазы (рис. 13б), что может приводить к повышенным усадкам с образованием микротрещин. С целью сдерживания трещинообразования, которое наиболее интенсивно проявляется в области температур 570 °С в связи с преобразованием структуры кварца, объем вводимых углеродных нанотрубок может быть увеличен до 0,010 % от массы глины в составе шихты.

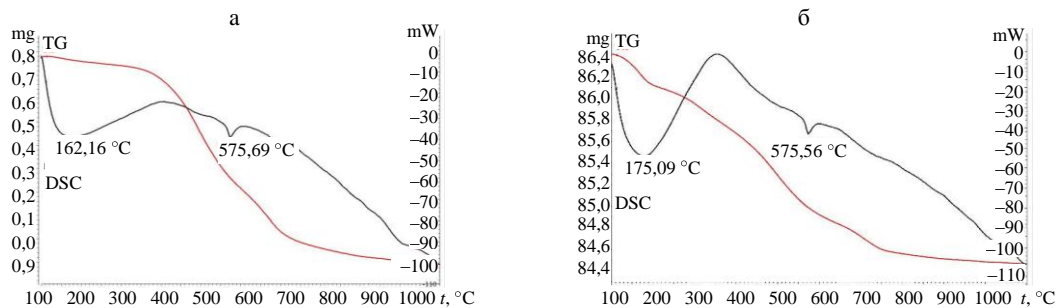


Рис. 12. Дифференциально-термический анализ шихты: а – без модифицирующих добавок; б – с добавлением МУНТ

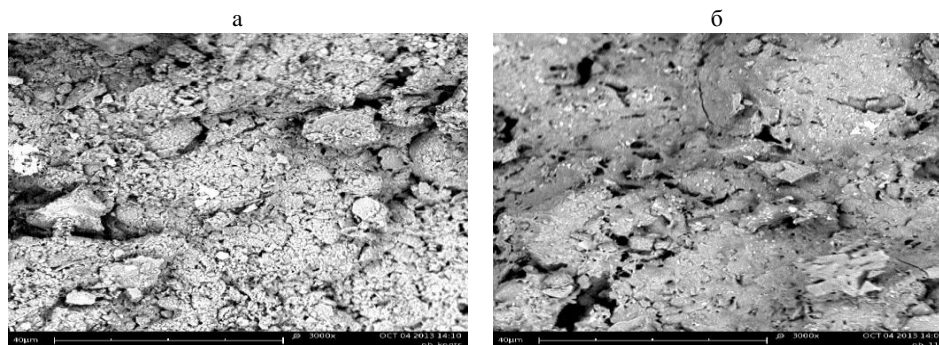


Рис. 13. Микроструктура обожженной керамики при 1000-кратном увеличении: а – без добавления углеродных нанотрубок; б – с добавлением 0,005 % углеродных нанотрубок

Силикатные фасадные краски для защиты от техногенных электромагнитных излучений. Разработан состав и исследованы свойства экранирующего покрытия на основе силикатной краски, модифицированной дисперсией МУНТ [11]. Введение МУНТ в состав силикатного покрытия в количестве 6 % приводит к структурообразованию вязущей силикатной матрицы с формированием плотного, прочного и долговечного покрытия, способного поглощать электромагнитное излучение, воздействующее на здания и сооружения. Проведенные физико-химические исследования с использованием ИК-спектрального анализа, дифференциально-термического анализа и растровой электронной микроскопии показали существенное изменение структуры и состава композиции при модификации ее углеродными нанотрубками (рис. 14а). Модификация силикатного покрытия дисперсией углеродных нанотрубок приводит к поглощению электромагнитного излучения до 70 % (рис. 14б).

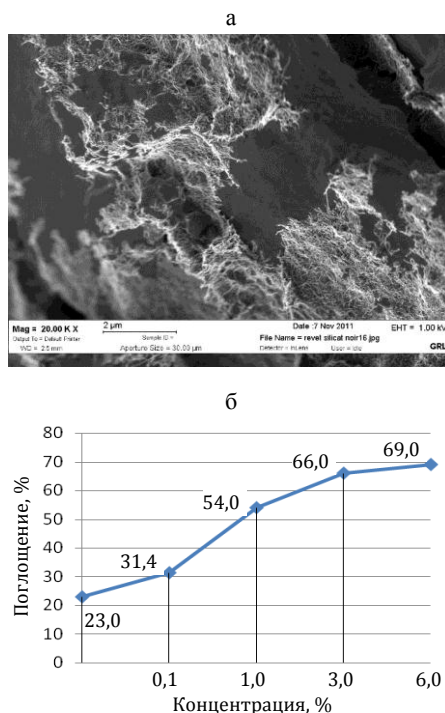


Рис. 14. Микроструктура скотла модифицированного силикатного покрытия (а) и зависимость поглощения электромагнитного излучения от содержания углеродных нанотрубок (б):
 —◆— 7%-я суспензия CW2-45

Следовательно, обеспечена эффективная комплексная защита технических средств и человека в производственных, административных

и жилых помещениях от воздействия техногенных электромагнитных полей. Силикатное покрытие может быть также использовано для информационной защиты оборудования и средств связи от несанкционированного съема информации за счет поглощения электромагнитного излучения, создаваемого приборами.

ВЫВОДЫ

1. Применение дисперсий многослойных углеродных нанотрубок стимулирует структурирование новообразований в твердеющих вязущих матрицах (цементные, гипсовые) с формированием кристаллогидратов повышенной плотности и прочности.

2. Введение углеродных нанотрубок в строительную керамику дает возможность существенно изменять структуру формируемого сырца и его прочность после сушки, при этом спекаемый керамический материал приобретает повышенные механические характеристики.

3. Силикатные фасадные краски, модифицированные дисперсией многослойных углеродных нанотрубок, после нанесения на основу формируют плотное, прочное и долговечное покрытие, способное поглощать техногенные электромагнитные излучения, воздействующие на здания и сооружения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Структуризация цементных вязущих матриц многослойными углеродными нанотрубками / Г. И. Яковлев [и др.] // Строительные материалы. – 2011. – № 11. – С. 22–24.
2. The influence of Multi-Walled Carbon Nanotubes Additive on Properties of Non-Autoclaved and Autoclaved Aerated Concretes / Ja. Keriene [et al.] // Construction and Building Materials. – 2013. – Vol. 49. – P. 527–535.
3. Применение дисперсий многослойных углеродных нанотрубок при производстве силикатного газобетона автоклавного твердения / Г. И. Яковлев [и др.] // Строительные материалы. – 2013. – № 2. – С. 25–29.
4. Nanobewehrung von Schaumbeton. Beton- und Stahlbetonbau / G. Yakovlev [et al.]. – 2017. – Vol. 102, Is. 2. – P. 120–124.
5. Sanchez, F. Nanotechnology in Concrete – a Review / F. Sanchez, K. Sobolev // Construction and Building Materials. – 2010. – No 24 (11). – P. 60–71.
6. Abu Al-Rub, R. K. On the Aspect Ratio Effect of Multi-Walled Carbon Nanotube Reinforcements on the Mechanical Properties of Cementitious Nanocomposites / R. K. Abu Al-Rub, A. I. Ashour, B. M. Tyson // Construction and Building Materials. – 2012. – Vol. 35. – P. 647–655.
7. Procédé D'introduction de Nanocharges Carbonées Dans un Inorganique Durcissable: pat. No 2 969 143. C 04 B 16/12 (2012.01), C 04 B 28/00 / A. Korzhenko, M. Havel,

P. Gaillard, G. I. Yakovlev, G. N. Pervuchin, D. V. Oreshkin / Bulletin 12/25; pub. 22.06.12.

8. **The Peculiarities** of Hardening of Composite Anhydrite Cement Pozzolanna Binding Materials with not Burned Natural Anhydrite / Ja. Zvironaite [et al.] // Materials Science (Medziagotura). – 2010. – Vol. 16, No 2. – P. 159–164.

9. **Samal, S.** Carbon Nanotube Reinforced Ceramic Matrix Composites – A Review / S. Samal, S. Bal // Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering. – 2008. – Vol. 7, No 4. – P. 355–370.

10. **Наномодифицирование** керамических материалов строительного назначения / Г. И. Яковлев [и др.] // Строительные материалы. – 2013. – № 4. – С. 62–64.

11. **Шайбадуллина, А. В.** Отделочная фасадная композиция, модифицированная углеродными нанотрубками, для защиты от электромагнитных полей / А. В. Шайбадуллина, Г. И. Яковлев, В. С. Бурдин // Строительные материалы. – 2013. – № 2. – С. 41–43.

REFERENCES

1. **Structurization** of Concrete Binding Matrices with the help of Multi-Walled Carbon Nanotubes / G. I. Yakovlev [et al.] // Stroitelnye Materialy (Building Materials). – 2011. – No 11. – P. 22–24.

2. **The Influence** of Multi-Walled Carbon Nanotubes Additive on Properties of Non-Autoclaved and Autoclaved Aerated Concretes / Ja. Keriene [et al.] // Construction and Building Materials. – 2013. – Vol. 49. – P. 527–535.

3. **Application** of Multi-Walled Carbon Nanotube Dispersions while Producing Silica Autoclaved Aerated Concrete / G. I. Yakovlev [et al.] // Stroitelnye Materialy (Building Materials). – 2013. – No 2. – P. 25–29.

4. **Nanobewehrung** von Schaumbeton. Beton- und Stahlbetonbau / G. Yakovlev [et al.]. – 2011. – Vol. 102, Is. 2. – P. 120–124.

5. **Sanchez, F.** Nanotechnology in Concrete – a Review / F. Sanchez, K. Sobolev // Construction and Building Materials. – 2010. – No 24 (11). – P. 60–71.

6. **Abu Al-Rub, R. K.** On the Aspect Ratio Effect of Multi-Walled Carbon Nanotube Reinforcements on the Mechanical Properties of Cementitious Nanocomposites / R. K. Abu Al-Rub, A. I. Ashour, B. M. Tyson // Construction and Building Materials. – 2012. – Vol. 35. – P. 647–655.

7. **Procede D'introduction de Nanocharges Carbonees Dans un Inorganique Durcissable:** pat. No 2 969 143. C 04 B 16/12 (2012.01), C 04 B 28/00 / A. Korzhenko, M. Havel, P. Gaillard, G. I. Yakovlev, G. N. Pervuchin, D. V. Oreshkin / Bulletin 12/25; pub. 22.06.12.

8. **The Peculiarities** of Hardening of Composite Anhydrite Cement Pozzolanna Binding Materials with not Burned Natural Anhydrite / Ja. Zvironaite [et al.] // Materials Science (Medziagotura). – 2010. – Vol. 16, No 2. – P. 159–164.

9. **Samal, S.** Carbon Nanotube Reinforced Ceramic Matrix Composites – A Review / S. Samal, S. Bal // Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering. – 2008. – Vol. 7, No 4. – P. 355–370.

10. **Nanomodification** of Ceramic Materials Used for Constructioin Purposes / G. I. Yakovlev [et al.] // Stroitelnye Materialy (Building Materials). – 2013. – No 4. – P. 62–64.

11. **Shaybadullina, A. V.** Finishing Façade Composition Modified for Electromagnetic Immunity with the Help of Carbon Nanotubes / A. V. Shaybadullina, G. I. Yakovlev, V. S. Burdin // Stroitelnye Materialy (Building Materials). – 2013. – No 2. – P. 41–43.

Поступила 12.11.2013

УДК 624.131.221:539.376

ФИЛЬТРАЦИОННАЯ И ВЯЗКОПОЛЗУЧАЯ ОСАДКА ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ МЕСОПОТАМИИ

Канд. техн. наук, доц. БАРАНОВ Н. Н., асп. АЛЬ-РОБАЙ АЛИ А. А.

Белорусский национальный технический университет

E-mail: geotechnika@tut.by

FILTRATION AND VISCOUS CREEPING SEETLEMENT OF MESOPOTAMIA LOAMY SOILS

BARANOV N. N., AL-ROBAI ALI A. A.

Belarusian National Technical University

В статье приводятся расчеты по определению значений величин полных осадок с учетом ползучести для ряда районов Месопотамии (Аль-Дивания, Хидр и Хила). Коэффициенты фильтрационного уплотнения приняты по данным инженерно-геологических изысканий, а параметры ползучести – по опубликованным данным исследований (Н. А. Цытович, З. Г. Тер-Мартirosян и др.). Полученные в расчете значения существенно превышают величины, определенные по действующим нормативам.

Ключевые слова: деформация глинистых оснований, вязкоползучая осадка, коэффициенты затухания ползучести и ядра ползучести.

Ил. 1. Табл. 2. Библиогр.: 8 назв.