

- 10.Блещик, Н.П. Расчетные модели усадки бетонных и железобетонных конструкций / Н.П. Блещик, А.Н. Рак, М.Н. Рыскин // Вестн. БГТУ, Строительство и архитектура, Приложение – Материалы XI Международного научно – методического семинара «Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь». – Брест, 2004. – Ч. 2. – С. 93 – 103.
- 11.Исследовать реологические, структурные, физико-механические и технологические свойства самоуплотняющихся бетонов, обеспечивающие увеличение производительности труда при укладке бетонной смеси, снижение удельных затрат энергии и стоимости отделочных работ. Разработать и внедрить комплект нормативно-технической документации. Этап 7.06.02. Исследовать физико-механические свойства самоуплотняющихся бетонов: отчет о НИР(промежуточный) / Бел НИИС; рук. Н.П. Блещик. – Минск, 2006. – 120 с. – № ГР 20053269.
- 12.Desing of concrete structures. Part 1: General Rules and Rules for Building: EN 1992-2-1, Eurocodez. – Commition of European Communities, Des 1991. – P. 253.
- 13.Национальный комплекс нормативно-технических документов в строительстве. Строительные нормы Республики Беларусь. Бетонные и железобетонные конструкции: СНБ 5.03.01-02.-Введ. 01.07.2003. – Минск: М-во архит. и стр-ва, 2002. – 274 с.
- 14.Desing of concrete structures. Part 1: General Rules and Rules for Building: DIN EN 1992-1-1:2005-10, Eurocodez. – Commition of European Communities, 2005. – P. 248.

УДК 666.972

Рябчиков П.В.; **Батяновский Э.И.,** д-р техн. наук, проф.
(БНТУ, г. Минск)

НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГРАФИТНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ В ТЯЖЕЛОМ БЕТОНЕ

Состояние проблемы. Углеродные наноматериалы обладают целым рядом уникальных физических свойств и сегодня все активнее используются в мировой практике для создания новых композиционных материалов.

К основной проблеме современного строительного материаловедения относят получение высококачественных бетонов. Решение этой проблемы может быть осуществлено в первую очередь за счет модифицирова-

ния структуры цементного камня, обеспечения в большей степени использования заложенного потенциала прочности кристаллогидратов, повышения качества совместной работы всех компонентов бетона. Одним из перспективных направлений исследований в области улучшения качества бетонов являются реализация в их производстве нанотехнологий.

Целью проводимых исследований является оценка перспективности использования наноматериалов в технологии бетона.

УНМ – углеродный наноматериал, представляющий собой каркасные структуры в виде трубочек диаметром 20 – 100 нм (10^{-9} м), состоящие из атомов углерода. История открытия углеродных нанотрубок в 1991 г. тесно связана с историей открытия фуллеренов в 1985 г. Фуллерены – молекулярные соединения, принадлежащие классу аллотропных форм углерода (другие – алмаз, графит) и представляющие собой выпуклые замкнутые многогранники, составленные из четного числа трехкоординированных атомов углерода. Фуллерены в значительном количестве содержатся в саже, образующейся в дуговом разряде на графитовых электродах. Было обнаружено, что в результате термического распыления графитного анода в электрической дуге, наряду с молекулами фуллеренов, образуются также протяженные структуры, представляющие собой свернутые в однослойную или многослойную трубку графитовые слои.

Как показали наблюдения, большинство трубок состоит из нескольких графитовых слоев, вложенных один в другой, либо навитых на общую ось. Однослойные нанотрубки не образуют швов при сворачивании и заканчиваются полусферическими вершинами, содержащими, наряду с правильными шестиугольниками, также по шесть правильных пятиугольников. Многослойные трубки отличаются более широким разнообразием форм.

Различают следующие виды многослойных нанотрубок, представленные на рисунке 1: «русская матрешка» – совокупность вложенных друг в друга однослойных цилиндрических трубок (а); шестигранная призма (б); свиток (в).



Рис. 1. Модели поперечных структур многослойных нанотрубок :
а – «русская матрешка»; б – шестигранная призма; в – свиток

Для всех приведенных структур значение расстояния между соседними графитными слоями всегда составляет 0,34 нм, что соответствует расстоянию между ними в кристаллическом графите.

Углеродные нанотрубки сочетают в себе свойства молекул и твердого тела и могут рассматриваться как промежуточное состояние вещества. У этих структур высокая проводимость, механическая прочность. Если такую нанотрубку завернуть одним образом, она обладает металлическими свойствами, иным – полупроводниковыми.

Электрические свойства нанотрубки в значительной степени определяются ее хиральностью, т.е. углом ориентации графитовой плоскости относительно оси трубки. В зависимости от хиральности одностенная нанотрубка может быть либо, как графит, полуметаллом, либо полупроводником. Таким образом, углеродные нанотрубки представляют собой новый физический объект, уникальные свойства которого позволяют рассчитывать на его эффективное использование в различных областях науки и технологии.

На сегодняшний день существует множество способов получения УНМ. Наиболее распространены: термическое распыление, термическое распыление в присутствии катализаторов, лазерное распыление и каталитический крекинг ацетилена.

Специалистами ИТМО НАН Беларуси разработана своя технология получения структурированного углерода: обработкой газовой плазмы электрического разряда смеси воздуха и углекислого газа. Эта методика является универсальной, т.к. в качестве источников углекислого газа могут быть природный и сжиженный газ, а также жидкие углеводороды (например, спирт или керосин). В результате получаются наночастицы большего диаметра, менее структурированные и, как следствие, более дешевые.

Диапазон попыток применения УНМ чрезвычайно широк, а в последнее время УНМ стали применять и в строительной отрасли, в качестве добавок в производстве пластмасс, резин, стекла, полиэтилена, красок и т.д. Также есть перспектива применения УНМ и в различных видах бетонов. Так, по данным российских исследователей прочность пено- и газобетона увеличивалась в несколько раз. Однако, при этом в информации не приводилось конкретных данных о применяемых материалах, составах бетона, условиях твердения, способах ввода добавок УНМ в бетон и т.п. поэтому проверить эти данные не представляется возможным.

Направления исследования и их результаты. В настоящее время в лаборатории НИИЛ БиСМ БНТУ совместно со специалистами Института тепло- и массообмена НАН Беларуси ведутся эксперименты о возможности и эффективности применения в бетоны добавок УНМ, с целью повышения

их физико-механических и эксплуатационных свойств (прочность, морозостойкость, водонепроницаемость, защитную способность бетона по отношению к стальной арматуре, «усиление» действия разнообразных химических добавок и т.д.).

Также рассматривается возможность применения углеродных нанодобавок для интенсификации помола различных материалов с учетом его использования в технологии поризованных бетонов. В частности, песка (для производства ячеистых легких бетонов), что позволит сократить время помола и снизить энергозатраты в производственном процессе.

В этой связи были проведены эксперименты по выявлению возможного влияния различных типов УНМ на интенсификацию помола, песка. В шаровой мельнице измельчали навеску сухого песка (природный, Крапужинского карьера; модуль крупности: $M_k \sim 2,8$) в количестве 5 кг, вводя 25 г нанодобавки (0,05 % от массы песка) перед помолом. Удельную поверхность измельчаемого песка периодически определяли с помощью прибора типа «ПСХ-4» («просос» воздуха).

Выявлено, что при использовании одной из проверенных разновидностей добавки УНМ, наблюдается незначительный, но стабильный рост удельной поверхности, по сравнению с контрольными значениями, на протяжении всего времени помола. При этом наибольший прирост удельной поверхности продукта помола отмечается в 0,5 ч (7,4 %) – 1,5 ч (7,7 %). Эти данные могут свидетельствовать о принципиальной возможности применения УНМ в качестве добавок интенсификации помола различных материалов. Например, ускорение темпов помола в начальный период времени (0,5 ч) можно будет использовать при помолке кремнеземного компонента в ячеистом бетоне.

Увеличение удельной поверхности в более длительный промежуток времени (1,5 ч), при положительных результатах выполняемых в настоящее время экспериментов, будет способствовать интенсификации помола цементного клинкера при одновременном введении малых дозировок вещества УНМ в изготавливаемое вяжущее.

Нами проведен ряд исследований стандартизированных физико-технических свойств цемента (коэффициент нормальной густоты, сроки схватывания, равномерность изменения объема) с разнообразными твердофазными (порошок) и суспензионными углеродными нанодобавками и исследования прочностных свойств цементного камня, модифицированного ими. В исследованиях использовался портландцемент ОАО «Кричевцемент» и ОАО «Красносельскцемент» марки: М500-Д0; М500-Д20, активностью 45 – 53 МПа; плотностью 3100 кг/м³; показателем нормальной гус-

тоты 26 – 28 %; изменение объема – равномерное. Результаты некоторых экспериментов приведены в таблице и на рисунке 2.

Результаты экспериментов

| Вид добавки | Прочность на сжатие в возрасте 28 суток естественного твердения, МПа | Прирост прочности, % |
|--|--|----------------------|
| 1 – Цемент без добавок | 38,9 | - |
| 2 – 0,01 % УНМ | 37,0 | -5,0 |
| 3 – 0,05 % УНМ | 41,2 | +6,0 |
| 4 – 0,05 % УНМ+0,5 % Na ₂ SO ₄ | 48,0 | +23,0 |
| 5 – 0,5 % УНМ +1,0 % Na ₂ SO ₄ | 44,3 | +14,0 |

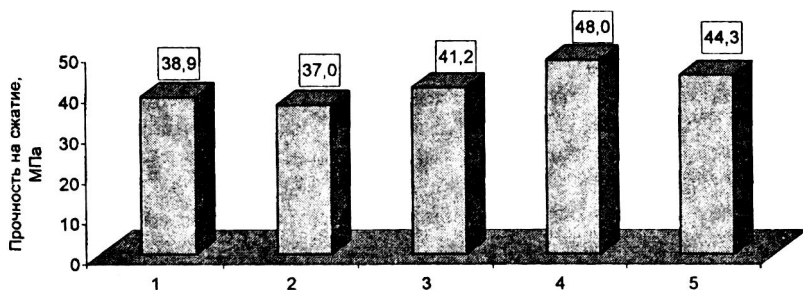


Рис. 2. Улучшение механических свойств цементного камня добавками УНМ

Добавку дозировали на весах типа ВЛК-500. В цемент ее вводили в сухом виде при перемешивании с ним в течение 10 мин, либо в виде суспензии вместе с водой затворения. Воду затворения вводили при непрерывном перемешивании с цементом. Количество воды затворения подбирали таким образом, чтобы получать тесто нормальной густоты. Продолжительность перемешивания и растирания цементного теста составляла 5 мин. Образцы-кубы (20×20×20 мм) формовали вручную с помощью штыковки диаметром 3 мм и уплотняли на встряхивающем столике (количество ударов – 25).

Выявлено, что углеродные нанодобавки не оказывают отрицательного влияния на нормируемые физико-технические свойства цемента (равномерность изменения объема, сроки схватывания, нормальную густоту).

Установлена закономерность роста прочности (до 30 %) цементного камня в естественных условиях твердения в 1 – 3 суток под влиянием

твердофазной углеродной нанодобавки и до 60 % – суспензионной нанодобавки в дозировке 0,05 % от массы цемента по сухому веществу.

Закключение. Следует отметить, что по существу в настоящее время идет поиск как оптимальных способов получения УНМ, так и области рационального использования их в технологии бетона. Важнейшими направлениями выполняемых исследований являются изучение влияния углеродных нанодобавок на морфологию и структуру цементного камня, его прочность, на возможное «усиление» ими действия химических добавок различных видов, на изменение эксплуатационных свойств бетона, включая защитную способность по отношению к стальной арматуре, и по другим направлениям исследований.

Литература

1. Елецкий, А.В. Углеродные нанотрубки / А.В. Елецкий // Успехи физических наук, 1997. – Т. 167, – № 9. – С. 945 – 972.
2. Рябчиков, П.В. Графитные наноматериалы и процесс диспергации песка / П.В. Рябчиков, Э.И. Батяновский // Наука – образованию, производству, экономике: Материалы пятой международной научно-технической конференции, БНТУ. – Минск, 2007. – С. 455 – 458.
3. Нанотехнологии – строительству, или Союз фундаментальной и прикладной науки // Республиканская строительная газета. – 2007. – № 16 (229).
4. Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема: ГОСТ 310.3-76.
5. Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии. ГОСТ 310.4-81.

УДК 666.972.16

Бозылев В.В., канд. техн. наук, доцент
(ПГУ, г. Новополоцк)

РАЗРАБОТКА ДОБАВОК-МОДИФИКАТОРОВ БЕТОНОВ И РАСТВОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Современное состояние строительной отрасли ориентировано на применение материалов, обеспечивающих возведение объектов с высоким качеством и в сжатые сроки. Бетон является базовым материалом, позволяющим на основе цементного вяжущего выпускать широкий спектр изде-