

Перспективы применения углеродных наноматериалов в цементных бетонах

Ковалёв В.И., Данейко Е.В.

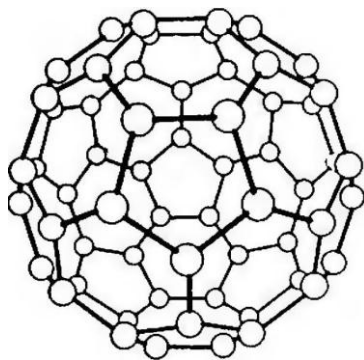
Научный руководитель – Рябчиков П.В.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Среди множества конструкционных материалов с все возрастающим темпом на лидирующие места вырывается железобетон. Перспективы внедрения этого строительного материала в проектирование конструкций самого различного типа уже давно ни у кого не вызывают сомнения. Но, несмотря на все очевидные достоинства, железобетонные конструкции имеют ряд существенных недостатков, таких как: большая масса конструкций, возможность коррозии бетона, его недостаточная прочность, морозостойкость, водонепроницаемость и т.д. Большинство этих и многих других минусов устраняются путем повышения прочности и плотности, а также сцепления с заполнителем и арматурой цементного камня, являющегося неотъемлемой частью железобетонного конгломерата, при прочих равных условиях играющего решающую роль в обеспечении качества готового материала.

В современных условиях все большую значимость приобретает знание, способность и умение управлять процессами структурообразования при получении различных строительных материалов на уровне размеров элементарных частиц, из которых «строится» данный материал. Целенаправленное воздействие на формирование наноструктуры, например, твердеющего цементного камня, может обеспечить создание более однородной и плотной взаимной «упаковки» гидрокристаллических новообразований и, на этой основе, не только управлять кинетикой перехода вязкопластичной бетонной смеси в твердофазное состояние – цементный бетон, но и обеспечить более высокий уровень его плотности и прочности, что является базисом для повышения несущей способности, долговечности и эксплуатационной надежности строительных конструкций, изготовленных с его использованием.

Проблеме использования нанотехнологий в строительном материаловедении и, в частности, в технологии бетона посвящено множество публикаций последних лет. Управление формированием структуры бетона на микроуровне всегда являлось одной из самых приоритетных задач в строительном материаловедении. До недавнего времени методы воздействия на микроструктуру бетона сводились к следующим: механоактивация цемента (эффект кавитации), омагничивание воды затворения, введение микродисперсной двуокиси кремния (микрокремнезем, золы-уноса и т.д.) в аморфной форме, применение иных различных микрокристаллических затравок.

В 1985 г. Харольдом Крото и Ричардом Смоли были открыты фуллерены – форма, состоящая из 60 атомов углерода. Это открытие было удостоено в 1996 г. Нобелевской премии по химии. В 1991 г. Иижима обнаружил новую форму углерода - продолговатые трубчатые углеродные образования, названные «нанотрубками». Разработка Кретчмером и Хаффманом технологии их получения в макроскопических количествах положила начало систематическим исследованиям поверхностных структур углерода. Основным элементом таких структур является графитовый слой – поверхность, выложенная правильными пяти- шести- и семиугольниками (пентагонами, гексагонами и гептагонами) с атомами углерода, расположенными в вершинах. В случае фуллеренов такая поверхность имеет замкнутую сферическую или сфероидальную форму (см. рис.), каждый атом связан с 3 соседями и связь – sp^2 .



Наиболее распространенная молекула фуллерена C₆₀ состоит из 20 гексагонов и 12 пентагонов. Ее поперечный размер – 0.714 нм. При определенных условиях молекулы C₆₀ могут упорядочиваться и образовывать молекулярный кристалл. При определенных условиях при комнатной температуре молекулы C₆₀ могут упорядочиваться и образовывать молекулярные кристаллы красноватого цвета с гранецентрированной кубической решеткой, параметр которой равен 1,41 нм.

Изменчивость форм, структурирования (конфигураций) и размеров неизбежно сопровождается непостоянством свойств углеродных наноматериалов. Этот эффект усиливается изменчивостью соотношения образующихся параллельно с много- и одностенными нанотрубками, разнообразными многогранниками и нановолокнами, УНМ иных материалов: аморфного углерода, металла, ультрадисперсных наночастиц. Общим недостатком первоначально разрабатываемых технологий был низкий выход собственно углеродного наноматериала, что сопровождалось соответствующим ростом его себестоимости и позволяло производить УНМ только для исследовательских целей.

С позиций эффективного воздействия УНМ на процессы структурообразования, твердения и на прочность цемента (соответственно – цементного бетона, как базового строительного материала) особую значимость имеют высочайшая потенциальная энергия ультрадисперсных УНМ и их свойство в определенных условиях получения формировать тончайшие волокна значительной (до десятков микрон) длины.

Особенность и уникальность применения вещества УНМ, характеризующегося огромным потенциалом поверхности ультрадисперсных частиц, заключается в достижении положительного результата, выраженного ростом прочности цементного камня, при дозировках в сотых и даже тысячных долях процента от массы цемента.

Можно предположить, что использование волокнообразных УНМ позволит решить проблему повышения ударной вязкости (хрупкости) и деформативности высокопрочных бетонов, увеличить прочность на растяжение (осевое и при изгибе) традиционных конструктивных бетонов и обеспечить одновременно рост их способности сопротивляться сжимающим нагрузкам, а также возникаю-

щим при сложноподвижном состоянии. Кроме этого означенный эффект может обеспечить существенное повышение прочности подвижных конструктивно-теплоизоляционных и теплоизоляционных бетонов, благодаря чему возможен рост их теплоизолирующей функции, что является одной из сложнейших в решении проблем строительного материаловедения. Основанием для такого утверждения является общепризнанный постулат теории разрушения хрупких материалов (включая бетон) от усилий, превышающих предел их прочности на растяжение и возникающих в поперечной плоскости к направлению приложения сжимающей нагрузки. Аналогией означенного эффекта на макроуровне является прием армирования бетона металлической фиброй, а также щелочестойким стекловолокном и другими волокнистыми материалами.

Некоторые выводы о влиянии УНМ-добавок на свойства цементного камня и цемента можно сделать, опираясь на серию научно-исследовательских работ и опытов, проведенных в НИИЛ БиСМ БНТУ и кафедре ТБиСМ БНТУ в период с 2006 по 2012 гг. с использованием различных веществ УНМ (получаемые по различным технологиям, разработанным в институте «ИТМО» НАН Беларуси).

Результаты поисковых исследований, целью которых являлась проверка возможности и оценка вероятной эффективности применения полученных в Институте тепло- и массообмена отечественных углеродных наноматериалов в цементных бетонах, дали в целом оптимистический ответ на этот вопрос в виде установленной положительной динамики роста активности цемента, прочности цементного камня и отсутствия отрицательных воздействий на стандартизированные свойства цемента.

В процессе выполнения экспериментов был апробирован широкий спектр веществ УНМ, различающихся видом исходного сырья и особенностями технологии получения, с целью снижения стоимости конечного продукта и повышения его качественных характеристик.

Отработаны технологические приемы введения малых количеств УНМ в твердофазный порошкообразный материал – цемент, выполнены начальные исследования структурно-морфологических изменений в продуктах гидратации клинкерных минералов цемента и особенностей формирования их структуры под влиянием вещества УНМ. Выявлены разновидности вещества УНМ и условия, со-

ответствующие проявлению ими благоприятного воздействия на процессы взаимодействия цемента с водой и кинетику роста прочности цементного камня и бетона. Общая ориентация выполненных и продолжающихся исследований на бетоны плотной и поризованной структуры рациональна и оправдана как достигнутой общей положительной тенденцией в результатах исследований, так и значимостью этих материалов для строительной отрасли Беларуси и с учетом их роли в мировом строительном производстве.

С учетом изложенного можно сформулировать следующие направления исследований, преследующие цель создания и развития нанотехнологий применительно к строительному материаловедению и, в частности, в технологии бетонов:

- производство веществ углеродных наноматериалов с заданными структурными и физическими характеристиками;
- производство веществ УНМ с устойчиво прогнозируемыми структурными и физическими характеристиками при минимальной стоимости конечного продукта;
- производство кремнеземсодержащих наноматериалов, а также высокопрочных волокнообразных УНМ;
- исследования морфологических и структурных изменений в продуктах гидратации цемента, модифицированного УНМ, для целенаправленного воздействия на формирование структуры и свойств цементного камня и бетона;
- создание строительных материалов со специальными физико-техническими и эксплуатационными свойствами;
- развитие научных основ и разработка технологий, способов и приемов применения ультрадисперсных наноматериалов при производстве бетонов и иных строительных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ваучский М.Н. Направленное формирование упорядоченной надмолекулярной структуры гидратированных минеральных вяжущих. Вестник гражданских инженеров, 2004, №2(3), с.44 – 47.
2. Яковлев Г.И. Нанодисперсная арматура в цементном пенобетоне//Технологии бетонов, № 3, 2006, с. 68-71.
3. Артамонова, О.В. Формирование структуры и управление прочностными свойствами гидросиликатных систем модифициро-

ванных ультра - и наноразмерными частицами / О.В. Артамонова, Д.Н. Коротких, Е.М. Чернышев // Первая международная конференция: Деформация и разрушение материалов, Москва, 13-16 ноября 2006, тез. докл. Москва, 2006, с. 514-516.

4. Пухаренко, Ю.В. Наноструктурирование воды затворения как способ повышения эффективности пластификаторов бетонных смесей / Ю.В. Пухаренко, В.А. Никитин, Д.Г. Летенко // Строительные материалы. – Наука. – 2006. – № 8. Приложение к научно-техническому журналу «Строительные материалы», 2006, № 9, с. 11-13.

5. Королев, Е.В. Модифицирование строительных материалов наноуглеродными трубками и фуллеренами / Е.В. Королев, Ю.М. Баженов, В.А. Береговой // Строительные материалы - Наука. – 2006. – № 8. Приложение к научно-техническому журналу «Строительные материалы», 2006, №9, с. 2-4.

6. Лотов, В.А. Нанодисперсные системы в технологии строительных материалов и изделий. / Строительные материалы. – 2006, №8. - с. 10-12.