

## Нанобетон - в дорожное строительство

11.03.2015

Совершенно очевидно, что прогресс строительной индустрии возможен только на базе современных высокоразвитых технологий, обеспечивающих высокое качество продукции, ее экологическую безопасность и экономию ресурсов. Создание наукоемких и высоких технологий возможно только с использованием последних достижений физики, химии и других фундаментальных наук. На текущий момент наиболее перспективными являются нанотехнологии.

В странах с развитой наукой и экономикой — в США, Японии, России, Европе и Китае — исследования в области нанотехнологий объявлены высшим национальным приоритетом.

Существует ряд областей, где уже используются нанотехнологии, например, в наномедицине, наноэлектронике, геной инженерии (нанобиологии). Исследования передовых ученых в области нанотехнологий в строительной отрасли представлены в многочисленных монографиях и статьях в научных журналах. Перспективы исследований и внедрения нанотехнологий в области строительных материалов намечены в «Дорожной карте в строительстве» на период до 2025 года, утвержденной учеными всего мира. Однако применение нанотехнологий в строительстве находится пока еще в начальной стадии.

Первые успешные результаты в разработке нанобетона группой российских ученых под руководством А. Н. Пономарева из Санкт-Петербурга были получены в 1993 году. На данный момент в работе над созданием новых строительных материалов на основе нанотехнологий задействованы «Наноцентр» МЭИ, ООО «Нанотроника» из Москвы, НПО «Синтетика-Строй» из Новочеркаска и петербургский НТЦ «Прикладные технологии».





На сегодняшний день существует два технологических варианта применения наночастиц в наноструктурированных бетонах. Первый из них — технология домолы цемента перед его использованием до наноразмерных частиц. У такого цемента значительно возрастает доля вещества, вступающего в реакцию с водой. Если у обычного цемента, удельная поверхность которого около  $3000 \text{ см}^2/\text{г}$ , в реакцию вступает лишь третья часть объема его частиц, преимущественно с поверхности, а остальной объем выполняет в готовом изделии функцию инертного заполнителя, то у домолотого цемента частицы реагируют с водой на 80...90 процентов их объема. Следовательно, на получение заданного изделия цемента потребуется меньше. Домолотый цемент обеспечивает получение более прочных цементосодержащих структур. При производстве цемента значительная часть энергии уходит на помол клинкера (сырья для получения цемента). Небольшая добавка углеродных наномодификаторов существенно уменьшает время помола.

Второй вариант — модифицирование строительных материалов. Оно осуществляется путем введения наномодификаторов. В качестве наномодификаторов применяют следующие добавки: углеродные астра-лены (C), углеродные фуллерены (C), углеродные нанотрубки (C), серебро (Ag), медь (Cu), диоксид титана ( $\text{TiO}_2$ ), диоксид кремния ( $\text{SiO}_2$ ) из отходов, диоксид кремния ( $\text{SiO}_2$ ) синтезированный, оксид железа III ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), оксиды других металлов, известь ( $\text{CaCO}_3$ ), полимерные наночастицы, нанопленки, нановолокна.

Наномодификаторы в весьма малых концентрациях способствуют улучшению физико-механических характеристик бетона: повышению прочности и величины модуля упругости, повышению водонепроницаемости и морозостойкости, снижению значений предельной деформации усадки.

В последнее время значительный интерес для исследователей представляют углеродные наночастицы и нанотрубки. Теория их применения основана на том, что применение таких частиц способствует уплотнению структуры бетона на субмикро- и микроуровне, что приводит к увеличению плотности и прочности всего композита. Кроме того, углеродные наночастицы — готовые центры кристаллизации. Все это приводит к получению принципиально новых свойств бетонов и повышению их долговечности.

По данным Института химии силикатов РАН, углеродсодержащие наномодификаторы ускоряют процесс гидратации портландцемента, повышают прочность цементного камня и другие эксплуатационные характеристики. Наноразмерные частицы могут являться наиболее перспективными модификаторами структуры цементного камня и бетонов на его основе, так как являются центром кристаллизации новой фазы, проявляют высокую химическую активность и обеспечивают снижение внутренних напряжений в системе, тем самым повышая прочность и долговечность материала. Углеродные наноматериалы имеют свободные химические связи, вследствие чего они могут обеспечить улучшение сцепления бетонной смеси и заполнителя и, как следствие, повышение прочности материала.



Нановолокна и наноматериалы могут играть роль армирующего материала благодаря высокой прочности и повышенному модулю упругости.

В мире углеродные наноматериалы получают разными способами: в электрической дуге, лазерным или солнечным испарением, пиролизом, химическим осаждением паров. Как правило, предлагаемые исследователями способы синтеза углеродных наночастиц сложны, требуют дорогостоящего специального оборудования и специального сырья, из которого получают наночастицы. Однако уже найдены новые технологические подходы — относительно более дешевые способы получения углеродных наноматериалов.

В лаборатории Института тепло- и массообмена НАН Беларуси совместно с кафедрой «Строительные материалы и изделия» БНТУ этот материал получают обработкой газовой плазмой электрического разряда смеси воздуха и углеводородов. Методика является универсальной, так как в качестве источников углеводорода могут служить природный и сжиженный газ, жидкие углеводороды (спирт, керосин и т. п.). Себестоимость получаемого продукта составляет в настоящее время около 0,5 доллара за грамм.

Группа ученых Украинского государственного научно-исследовательского углехимического института (УХИН) под руководством В. М. Шмалько показала, что уголь и продукты его термической переработки (продукты коксования), в частности коксовая пыль, содержат наночастицы. Коксовая пыль представляет собой побочный продукт коксования углей. Такое сырье для синтеза наночастиц является доступным, рентабельным и недорогим. Одна коксовая батарея выделяет 710 тонн в год побочного продукта в виде коксовой пыли. Содержание наноразмерных частиц в коксовой пыли достигает 3 процентов от общей массы. Стоимость одной тонны пыли составляет около 200 условных единиц. Авторами установлено, что одним из способов получения углеродных наночастиц является ультразвуковое диспергирование коксовой пыли в воде. Однако концентрация углеродных наночастиц в таких золях не превышает 3 процентов.

В России разработан и широко применяется в мостостроении бетон легкий наноструктурированный. Одним из примеров эффективного использования такого материала может являться строительство автодорожного моста через реку Волгу, введенного в эксплуатацию в 2007 году. Его дорожные плиты выполнены из легкого конструкционного фибробетона на основе базальтовой микрофибры, модифицированной нанокластерами углерода. Это позволило снизить собственный вес конструкции более чем на треть.

Из последних разработок в этой области можно отметить модификатор прочности бетона НПЦ «КВАДРА» (г. Москва), действующим веществом которого являются углеродные нанотрубки. Модификатор может применяться в любых типах бетонов на основе портландцемента. Рекомендуемая концентрация модификатора в рецептуре бетона — 0,5 процента. Применение модификатора позволяет достичь увеличения прочности бетонов на сжатие до 45 процентов, на изгиб — до 28 процентов и увеличение морозостойкости бетонов до 39 процентов.

Практический интерес представляет эффективность использования углеродных наночастиц при изготовлении малоразмерных дорожно-строительных изделий. Начиная с 1 2011 года, на заводе ООО «Геомакс» (г. Харьков), изготавливающем дорожные бетонные смеси и изделия, при научном сопровождении сотрудников кафедры технологии дорожно-строительных материалов Харьковского национального автомобильно-дорожного университета выпускали малоразмерные элементы обустройства дорог (бортовой камень и тротуарную плитку) из бетона, в состав которого вводили углеродные наночастицы.

Эксплуатационные свойства бетонных изделий с углеродными наночастицами, изготовленных на заводе ООО «Геомакс», существенно отличаются от изделий без них: прочность бетона с наночастицами возрастает в 1,5 раза, а морозостойкость увеличивается на 1-2 марки по сравнению с контрольным составом. Введение углеродных наночастиц в состав бетонной смеси для малоразмерных дорожных изделий приводит к увеличению срока службы в 1,5 раза. За счет повышения прочности изделий расход цемента может быть снижен до 20 процентов, что позволит получить годовой экономический эффект при годовой производительности 5000 м<sup>3</sup> изделий в размере более 1млн. рублей.

Таким образом, нанобетон со своими высокими физико-механическими характеристиками открывает новые возможности для проектирования и строительства. Это материал будущего, который станет в скором времени достойной заменой традиционным бетонным смесям.

Рауф ЮСИФОВ, кандидат технических наук (Мосгосстройнадзор, ГБУ «ЦЭИИС»).

