

Перспективы применения наноструктурированного бетона в строительстве

М.А. Фахратов, В.О. Евдокимов, А.С.Бородин

ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет»

Аннотация: В настоящее время все большую актуальность приобретают прогресс строительного материаловедения и строительной индустрии. Новые технологии обеспечивают высокое качество продукции, ее экологическую безопасность, эффективное использование сырья, экономию ресурсов. Создание высоких технологий возможно только с использованием последних достижений физики, химии и других фундаментальных наук. На сегодняшний день наиболее перспективными являются нанотехнологии.

Ключевые слова: нанобетон, природное сырье, добавки, макроармирование, фиброволокно, наноструктура, трещиностойкость.

Прогресс строительного материаловедения и строительной индустрии возможен только на базе современных наукоемких и высокоразвитых технологий. Новые технологии должны обеспечивать высокое качество продукции, ее экологическую безопасность, эффективное использование сырья, экономию ресурсов. Создание высоких технологий возможно только с использованием последних достижений физики, химии и других фундаментальных наук. [1]. В странах с развитой наукой и экономикой - США, Япония, Россия, Страны Объединённой Европы, Китай исследования в области нанотехнологий объявлены высшим национальным приоритетом. Нанотехнологии придают строительным материалам удивительные прочностные характеристики.

Под нанобетоном понимают материал, преобразованный тем или иным способом с применением нанотехнологий.

Наиболее распространены следующие варианты: добавление особых компонентов в состав бетона: модифицированная базальтовая микрофибра (МБМ); сухая смесь готовых добавок (ССГД).

Экспериментировать с нанодобавками к строительным материалам начали в конце 20 века. Было замечено, что при смешивании в состав

углеродных нанотрубок в количестве от 0,001 до 0,0001% от доли расхода связующего вещества, прочностные и другие характеристики полученного материала повышаются до 40%, а по некоторым параметрам — и в 2-3 раза.

Происходит это за счет того, что нанодобавки провоцируют рост кристаллов в минеральном веществе, и их лучи, разрастаясь и переплетаясь между собой, придают материалу более высокую прочность. Этот процесс назвали дисперсным самоармированием. [1] При этом прочность цементного камня увеличивалась до 40%, а бетона – всего на 10%. Это потому, что для него важнее макроармирование, нежели на микро- и тем более наноуровне.

Вторая проблема была в том, что непосредственное введение водной суспензии с нанотрубками неприемлемо для открытого производства. Так как этот способ изготовления требует лабораторных условий, при которых обеспечивается равномерное распределение микропорции наноматериала в заданной параметрами среде. В противном случае, все это может выпасть в бесполезный осадок. Тогда отказались от водной суспензии, и попробовали нанести наноинициаторы самоармирования непосредственно на твердый наполнитель: сначала экспериментировали на песке. Результат оказался лучше: структура бетона отчасти стала меняться на макроуровне, но материал все равно был недостаточно прочным для своей себестоимости. Следом, вместо песка, испытали базальтовую микрофибру. Технические характеристики полученного камня превзошли все ожидания. Также выяснилось, что для такого метода можно использовать более дешевые наночастицы (астралены). В итоге, был разработан высококачественный прочный бетон, имеющий умеренную стоимость для применения его в строительной промышленности.

Армирование бетона фиброволокном позволяет повысить прочность, устойчивость к агрессивным средам и перепадам температур, и улучшить другие характеристики. Оптимальным волокном для этих целей является

базальтовое. Оно легче стального, не вызывает коррозии, и цена существенно ниже. Также во многом превосходит полипропиленовые и стеклянные микрофибры. Имеет высокие показатели: прочности на разрыв; адгезии; упругости; термостабильности; истираемости; химстойкости. Химические процессы, ими инициированные, приводят к усилению взаимодействия микрофибры с окружающими веществами, крепко «сцепляя» весь материал между собой в единое целое.

Модифицированная базальтовая микрофибра для дисперсного армирования материалов на полимерных и минеральных вяжущих, выпускается по ТУ 5761-014-13800624-2004. [2]

Стройматериалы, изготовленные с ее применением, обладают следующими преимуществами:

Увеличение прочности на сжатие, разрыв, изгиб, растяжение, а также усталостной и ударной, вне зависимости от температуры среды (рабочий диапазон применения МБМ от -260°C до $+750^{\circ}\text{C}$).

- Минимальные деформации при усадке.
- Улучшение свойств водонепроницаемости и морозостойкости, а также устойчивости к агрессивным средам и механическим воздействиям.
- Увеличивается срок службы.

Область применения микрофибры базальтовой модифицированной, во многом диктуется ее размером – длина волокон менее 0,5 мм. Это позволяет использовать ее не только при изготовлении пено- и газобетонов, тротуарной плитки, кирпича, материалов для торкретирования (декоративные штукатурки и пр.) покрытий, наносимых при помощи пневмонабрызга.

Получается, что основным применением нанотехнологий в сфере строительства, является изобретение микрофибры базальтовой модифицированной, а нанобетон — это одна из областей ее использования.

В цементные смеси, для улучшения качественных характеристик готовых изделий, можно добавлять непосредственно модифицированную базальтовую фибру вместе с другими компонентами.

Однако в 2008 году разработана и запатентована оптимальная рецептура сухой смеси готовых добавок к основному составу цемент-песок-вода. Бетон, изготовленный с использованием этой добавки, называется: бетон легкий наноструктурированный (БЛН) – конструкционный строительный материал, обладающий при этом малым весом. Особых условий для применения ССГД не требуется.

Высокотехнологичный прочный нанобетон может быть изготовлен своими руками непосредственно на рабочей площадке, путём добавления ССГД в автомиксер согласно инструкции. Основные преимущества: 1) за счет повышенной несущей способности, при сравнительно малом весе конструкции, снижаются расходы по армированию на 30% и более. Потому как требуемый диаметр стержней будет меньше, а также меняется и схема армирования; 2) уменьшается нагрузка на фундамент, что позволяет делать его не таким массивным; 3) увеличивается количество вариантов для реконструкции зданий без изменения их оснований.

Сооружения, построенные из БЛН, не требуют дополнительной гидроизоляции. Имеют низкую пожарную опасность. А за счет своей структуры, получаемой посредством микродисперсного армирования, значительно повышается трещиностойкость и упругость материала, и в целом надежность зданий. Рекомендовано для использования на сейсмоопасных территориях. [3]

Общая экономия при строительстве из БЛН, достигается за счет упрощения и ускорения работ при возведении крупных сооружений, а также снижения затрат на транспортировку, опалубку.

После освоения МБМ в 2004 году, апробировали и испытали легкий наномодифицированный бетон в 2008 г., а в 2009 г. стали пробовать применять накопленный опыт в создании покрытий. Результатом работы стало «Самоуплотняющееся многослойное композиционное противовандально-декоративное и антикоррозионно-гидроизолирующее покрытие ЭпоксиПАН», выпускаемое по ТУ 23 1253-053-91957749-2011.

В его состав, помимо эпоксидных и других компонентов, входит и модифицированная микрофибра, и отдельные углеродные наночастицы. За счет этих нанодобавок, при нанесении покрытия начинают происходить те же процессы микродисперсного самоармирования, в результате чего поверхность основания уплотняется, и приобретает все новые свойства, присущие наноструктурированному материалу.

Чтобы покрытие проникло на большую глубину – предварительно наносят слой соответствующей грунт-пропитки. А для подготовки металлических изделий, используется специальный праймер. Таким образом, граница раздела между основанием и покрытием практически отсутствует, обработанная конструкция ведет себя как единое целое, при этом исключаются возможные локальные отшелушивания и отслоения.

Сейчас на рынке практически не найти схожих по техническим характеристикам нанопокровов других производителей — по крайней мере, в заданном ценовом диапазоне. [7] Обработка таким способом, может успешно применяться для конструкций, эксплуатирующихся в агрессивной среде, например, канализации. Металл перестаёт ржаветь, а бетон – разрушаться. В покрытие можно добавить колер и использовать для декоративной отделки, одновременно придавая строению гидроизоляционные и антикоррозийные свойства, повышая его износостойкость.

Композитная арматура медленно, но верно вытесняет собой стальную. Это обусловлено рядом преимуществ, таких как: высокая коррозионная стойкость, долговечность, меньший вес и другие характеристики. Однако существует и ряд проблем при ее использовании. Одна из которых – низкие свойства адгезии с бетоном. Чтобы повысить их – применяют несколько методов, например, рифление поверхности или напыление на нее песка, но это помогает лишь отчасти. Более эффективно решению проблемы способствует добавление углеродных нанокomпонентов в состав арматуры, которые увеличивают ее сцепляющие свойства с бетоном.[5]

Главная слабость бетона – самого распространенного строительного материала, в том, что изделие уже на стадии изготовления приобретает микротрещины. А в процессе эксплуатации, под нагрузками, они только развиваются и сильнее раскрываются. [8] Применение технологий наноструктурирования бетона, как раз препятствует возникновению трещин на наноуровне, а использование базальтовой фибры – на микроуровне. Если же еще добавить и макроармирование отдельными стержнями, сетками или каркасами – в результате получится очень прочная, с высокими показателями трещиностойкости конструкция. Таким образом, использование нанотехнологий в строительной промышленности открывает новые горизонты для самых смелых архитектурных решений.

По расчетным данным использование легкого наномодифицированного бетона весьма перспективно в монолитных конструкциях для специальных объектов: в высотном строительстве (уменьшение собственного веса позволит существенно уменьшить объемы фундаментных работ и самого каркаса здания); в подземном строительстве (водонепроницаемость W20 позволяет избежать работ, связанных с защитой сооружения от воды и влаги); в большепролетных конструкциях (уменьшение собственного веса с одновременным увеличением прочности бетона позволяют увеличивать

пролеты); строительство в сейсмоопасных районах (уменьшение собственного веса снижает инерционные нагрузки на здания и позволяет частично компенсировать мероприятия, направленные на защиту зданий от землетрясений).

Литература

1. Баженов Ю.М. Технология бетона: Учебник / М.: Изд-во АСВ – 2015. - 500 с.
2. Баженов Ю.М., Комар А.Г. Технология бетонных и железобетонных изделий: Учебник для строительных вузов. 2015. - 476 с.
3. Коледин В.В. Проектирование предприятий сборного железобетона: Учеб. пособие / Новосибирск: НГАСУ. 2015. - 100 с.
4. Коледин В.В. Сырьевая база и производственная структура предприятий строительной индустрии Сибири и Дальнего Востока: Учебное пособие. - Новосибирск: НГАС, 2015.- 145 с.
5. Оглоблина Е.А. Расчет состава бетона различных видов / Магнитогорск: МГТУ. - 2016. - 28 с.
6. Наназашвили И.Х. «Строительные материалы, изделия и конструкции»: Справочник, иллюстр. - М.: «Высшая школа», 1990 г. – 480 с.
7. Дружинкин С.В. Немыкина Д.А. Влияние суперпластифицирующих добавок на прочность бетона //Инженерный вестник Дона, 2018, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/50068.
8. П.Н. Курочка А.В. Гаврилов. Бетоны на комплексном вяжущем и мелком песке // Инженерный вестник Дона, 2013, №1 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1562.
9. Yuan, Yuai High-quality cement concrete with improved properties / Yuai Yuan, Wang Lin, Tian Pe. - M: Publishing house of the Association of Construction Universities, 2014. - 448 p.
10. Russell, Jesse Betton. - M.: The book on Demand, 2012. - 824 p.

References

1. Bazhenov Yu.M. *Texnologiya betona [technology of concrete]. Uchebnik.* M.: Izd-vo ASV. 2015. 500 p.
2. Bazhenov Yu.M., Komar A.G. *Texnologiya betonnyx i zhelezobetonnyx izdelij: [Technology of concrete and reinforced concrete products]. Uchebnik dlya stroitelnyx vuzov.* 2015. 476 p.
3. Koledin V.V. *Proektirovanie predpriyatij sbornogo zhelezobetona: [Design of prefabricated reinforced concrete enterprises]. Ucheb. posobie.* Novosibirsk: NGASU. 2015. 100 p.
4. Koledin V.V. *Syrevaya baza i proizvodstvennaya struktura predpriyatij stroitelnoj industrii Sibiri i Dalnego Vostoka: [Raw materials base and industrial structure of enterprises of the construction industry in Siberia and the Far East]. Uchebnoe posobie.* Novosibirsk: NGASU, 2015. 145 p.
5. Ogloblina E.A. *Raschet sostava betona razlichnyx vidov [Calculation of the composition of concrete of various types].* Magnitogorsk: MGTU. 2016. 28 p.
6. Nanazashvili I.X. *Stroitelnye materialy, izdeliya i konstrukcii» [Building materials, products and structures]: Spravochnik, illyustr.* M.: «Vysshaya shkola», 1990 g. 480 p.
7. Druzhinkin S.V. Nemykina D.A. *Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/50068.*
8. Kurochka P.N., Gavrilov A.V. *Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №1 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1562.*
9. Yuan, Yuai *High-quality cement concrete with improved properties: Publishing house of the Association of Construction Universities, 2014. 448 p.*
10. *Rassel, Dzhessi Beton. M: 2012. 824 p.*