

НАНОМОДИФИЦИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНА

Альберт Михайлович Асирян^{1*}, Анна Рубеновна Торгомян²¹Национальный университет архитектуры и строительства Армении, г.Ереван, РА,²ООО Arte Italia furniture, г.Ереван, РА

*asiryan@ysuac.am

Приводится сущность возникновения нанотехнологии бетона в результате практического применения многих фундаментальных достижений разных наук. Формирование структуры из нанокристаллических зерен позволяет придавать бетону невиданные свойства в области повышения прочности, деформативности, легкости, стойкости и долговечности. Рассматриваются вопросы, связанные с надежным управлением процесса формирования структуры бетона. Предлагается использовать местные природные минералы для изготовления нанодисперсных и гидравлически активных порошков с целью изготовления высококачественных бетонов.

Ключевые слова: наномодификация, нанотехнология, структура, бетон, прочность, деформативность, стойкость, долговечность

Нанотехнология способствует существенному повышению строительного производства, повышая его эффективность. При этом используются наночастицы в качестве модификаторов для приготовления бетона, как самого основного строительного материала. Нанотехнология возникла в результате практического применения многих фундаментальных достижений наук, ставших основой новой технологии.

В 2000 г. в США было объявлено о Национальной Нанотехнологической Инициативе и выделено 500 млн долларов для осуществления всемирного развития нанотехнологии. В Японии объем рынка товаров и услуг, связанных с нанотехнологией составил порядка 270 млрд долларов.

Термин “нанотехнология” объединяет разнородные представления и подходы, а также методы воздействия на вещество. Приставка “нано” к термину “технология” означает изменение масштаба в 10^{-9} (млрд) раз. Таким образом, 1 нанометр = $1\text{ нм} = 10^{-9}\text{ м}$, что составляет одну миллионную миллиметра. В итоге, к нанотехнологии принято относить процессы и объекты размерами от 1 до 100 нм. В результате, нанотехнология является набором технологий, основанных на манипуляциях с отдельными атомами и молекулами в масштабах 1...100 нм. Использование особенностей веществ размерами частиц в нанометрах, создает новые технологические возможности для создания модифицированных методик (приемов), связанных с материаловедением, в частности, в бетоноведении.

Получение новых технологий позволяет производить научно-техническую революцию в производстве конструкций из бетона и железобетона. Нанотехнология представляет собой совокупность прикладных исследований нанонауки и их практического применения, включая промышленное производство.

Нанонаука является междисциплинарной наукой, относящейся к фундаментальным физико-химическим исследованиям объектов и процессов с масштабами в несколько нанометров (нм).

Основной проблемой при внедрении нанотехнологии в промышленность является не только получение новых материалов, а также развитие методов их обработки. Ведь уменьшение кристаллического зерна материала в 10 раз приводит к увеличению прочности примерно в три раза. Дальнейшее уменьшение зерна может привести к эффекту сверхпластичности и т.п. Большая часть нанокристаллических материалов обладает такими особенными характеристиками, как, например, повышенной прочностью, легкостью, стойкостью и долговечностью.

Формирование структур из нанокристаллических зерен позволяет материалам придавать новые свойства. Для этого необходимо заранее исследовать механизмы структурирования самих наночастиц и нанокластеров.

Свойства наноуглеродных структур, оснащенных фуллеронами и родственными структурами (наночастицами и нанотрубками), представляют многоатомные молекулы углерода, имеющие замкнутую пространственную структуру. По структуре фуллероны являются трехмерными аналогами ароматических соединений. Фуллероны и нанотрубки положительно влияют на формирование структуры цементных композитов. Возможности технологии в обработке материалов позволяют создавать сверхлегкие и сверхпрочные конструкционные материалы и бетоны.

Применение нанотехнологий и использование достижений фундаментальной науки должно быть связано с активным и плодотворным сотрудничеством между производственными, государственными и научными кругами. Приобретает важное значение для развития нанотехнологии подготовка соответствующих кадров [1].

С классической точки зрения, при уменьшении размеров частиц, в системе резко увеличивается удельная поверхность, а свойства объемной фазы должны оставаться неизменными. Значение удельной поверхности частиц сильно увеличивается при приближении их размера к атомному. Классические понятия “состав-структура-свойство” дополняется координатой дисперсности. Для большинства объемных материалов целесообразно рассматривать разные уровни структуры: от наноразмерных до миллиметровых и понимать то, что они тесно взаимосвязаны. В некоторых случаях определяющим являются фрагменты не нано-, а миллиметровых размеров. В связи с этим следует стремиться к созданию композитов с оптимальным размером фрагментов их структуры, которые определяют функциональные и конструкционные свойства.

Композиты с наноструктурированным строением возможно получить в результате физической и физико-химической обработки. При этом, чем меньше размер частиц, тем больше проявляются так называемые квантовые эффекты, являющиеся базовыми в атомных системах. Длительное механическое измельчение исходного материала для формирования наноструктур практически не достаточно. Способ получения наночастиц достаточно сложный процесс и должен состоять из механического, химического, физического и скорее их комплексного применения.

С применением нанотехнологии изготовлены бетоны, механическая прочность которых на 150% выше прочности бетона, изготовленного с обычной технологией, при этом морозостойкость повышается на 50%, а трещинообразование меньше в 3 раза [2]. Следует отметить, что железобетонные конструкции, изготовленные из такого бетона, имеют собственную массу порядка 1500 кг/м^3 , вместо 2400 кг/м^3 . При этом в состав наномодифицированного бетона вводятся микрочастицы базальтового микрофибра и нанодисперсный модификатор. В Санкт-Петербурге использовали наномодификаторы для производства бетонных смесей, которые позволили уменьшать расход добавок и цемента. Следует отметить, что применение наномодификаторов на заводах

железобетонных конструкций требуют незначительных производственных затрат с использованием существующего технологического процесса, а также легко управляются качеством продукции.

К сожалению, сдерживающим фактором развития нанотехнологии, в первую очередь, является необходимость многотоннажного производства строительных наноматериалов, а также разработка эффективных нанотехнологий с надежными и управляемыми характеристиками. Обычные методы исследования наноструктур в данном случае неприемлемы, так как они позволяют лишь фиксировать конечный результат. Управление процессом формирования структуры бетона на наноуровне во время всей технологии производства железобетонных конструкций является основополагающим условием современной технологии бетона. Требуется создание оптимальной структуры бетона, начиная от макро-, мезо-, микро-, до субмикроструктуры. Следует также учесть то обстоятельство, что изготовление добавок как химических, так и минеральных, приводит к образованию избыточной энергии, которая способствует формированию основы наносистемы.

В связи с этим требуется разработать модель процесса наноструктурирования композита и выработать критерии для надежного управления этим процессом. При этом следует учесть, что образуемые в процессе изготовления наноматериалов высокие значения удельной поверхностной энергии создает большие и сложные проблемы. Под воздействием большого когезионного взаимодействия ультрадисперсные наноматериалы формируют крупные агломераты и усложняют введение в бетонную смесь. Для этого требуется разработка специальных тончайших технологий.

Микроструктура, при уменьшении размеров кристаллов цементного камня и пор, придает бетону повышенную сопротивляемость и приводит к возникновению нового, до сих пор неизведанного качества [2].

В бетонной смеси во время гидратации цемента, на поверхности зерен цемента под влиянием модификаторов образуются коллоидные частицы наноразмеров и гелеподобные тонкие слои. Бетоны нового поколения с использованием нанотехнологии позволяют изготавливать невиданные прогрессивные железобетонные конструкции и сооружения, такие как высотные здания, мосты, туннели, производственные и общественные объекты.

Нанотехнология позволяет изготавливать самоуплотняющие литые бетоны, а также высокопрочные бетоны с сопротивлением на сжатие 200 МПа и выше, достичь чего другими способами невозможно [3]. Надежное управление структурообразованием бетона становится возможным введением в композит наноразмерных частиц, которые играют, по-видимому, нижеследующие роли:

- зародышей структурообразования,
- подложки для кристаллизации,
- центров зонирования новообразований,
- наноармирующего элемента матрицы.

Следовательно, введение в бетонную смесь наномасштабных структурных элементов играет положительную роль для практической реализации нанотехнологии. Зерна кремнезема, применяемые в качестве модификаторов структуры цементного камня, имеют виды, приведенные на рис.1.

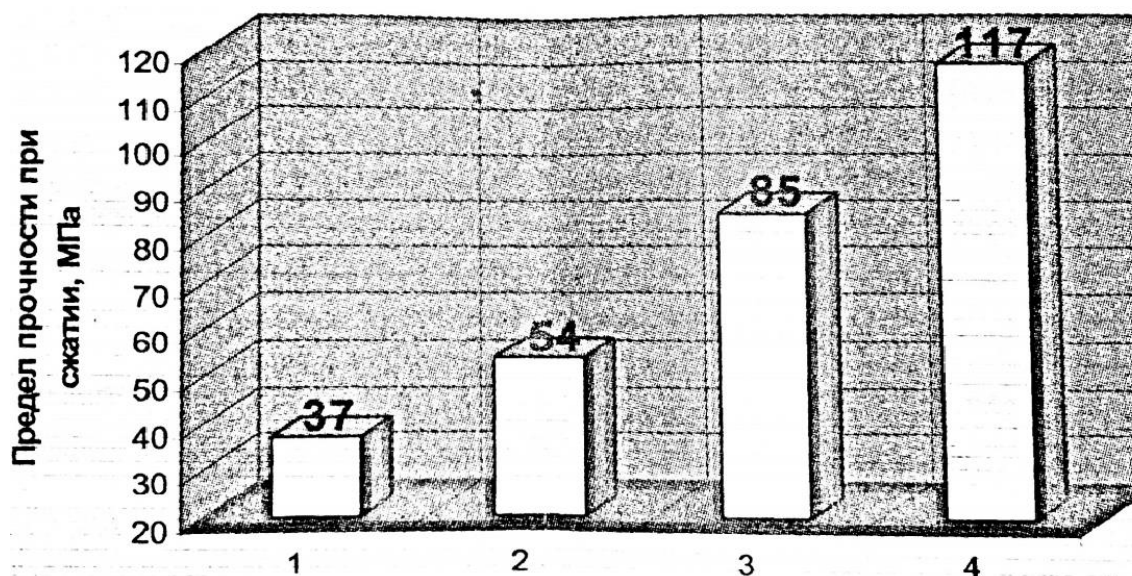


Рис. 1. Зависимость предела прочности при сжатии бетона от дисперсного состава наполнителей в условиях действия добавки-суперпластификатора(возраст 14суток): 1-мелкозернистый бетон(МБ), 2-тонкозернистый бетон(ТБ), 3-ТБ с наноразмерными частицами, 4-ТБ с микрокремнеземом и наноразмерными частицами

Применяется наноразмерный кремнезем, который является родственным цементирующим веществом по своим кристаллохимическим параметрам. Это и определяет возможность встраивания зерен кремнезема в гидросиликатные структуры. Влияние удельной поверхности нанозерен на прочность бетона приведено в виде графика на рис.2.

Управление структурообразованием при помощи нанотехнологии позволяет увеличивать эксплуатационные свойства бетона и имеет большое значение для развития технологии бетона. Мировое сообщество с этой целью создало стандарт Е2456-06 “Терминология в нанотехнологии”. Наночастицы обладают уникальными свойствами значительно отличающимися от макрочастиц. В первую очередь у таких частиц изменяются поверхностные свойства, которые оцениваются поверхностной энергией, как показано на рис.3.

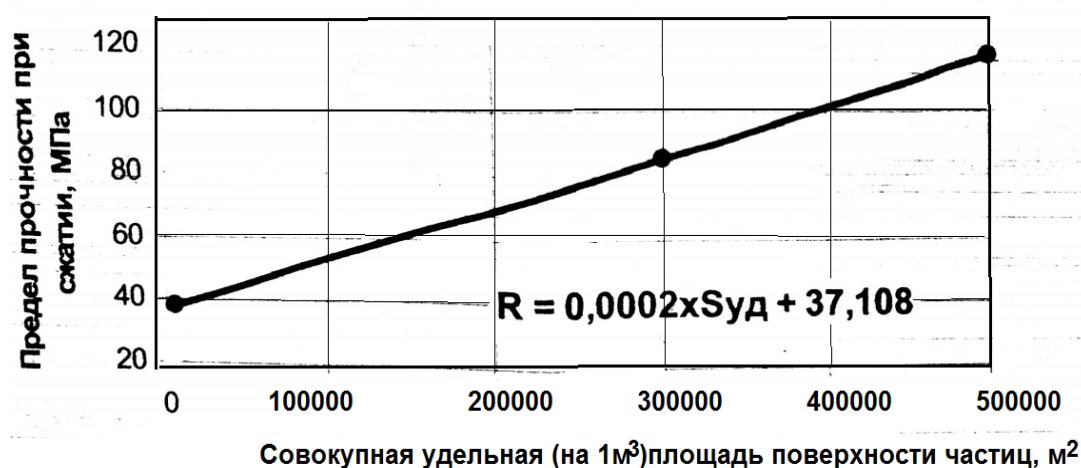


Рис. 2. Корреляция прочности бетона и удельной площади поверхности системы сложения зерен мелкого заполнителя, частиц микрокремнезема и наноразмерных частиц в бетонной смеси

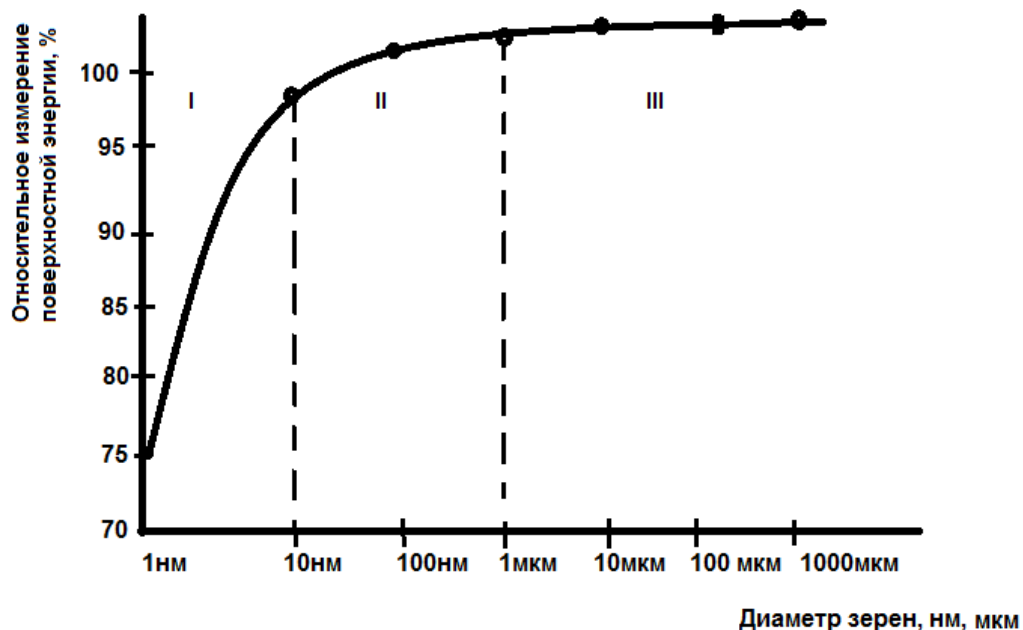


Рис. 3. Зависимость поверхностной энергии углерода от размера зерен. Участки:
I-поверхностная энергия не зависит от размера зерен, II-поверхностная энергия
уменьшается на 2...3%, III-поверхностная энергия уменьшается на 20...25%

В технологии наномодифицирования видимо следует отметить четыре направления:

- изменение структуры воды, которая является равнозначным компонентом бетона,
- изменение кристаллических и надмолекулярных структур,
- изменение размеров пор,
- модифицирование кристаллической структуры.

В настоящее время для строительной отрасли требуются бетоны, как особопрочные, так и легкие, долговечные для возведения высотных и промышленных зданий и сооружений, дорог и т.д. При разработке новых наномодифицированных бетонов, обладающих заданными свойствами, будет возможным придавать железобетонным конструкциям сравнительно новые разнообразные свойства, например, одновременно высокие прочностные показатели и легкость.

Бетоны являются уникальным материалом, формирование которого протекает на молекулярном, субмолекулярном и нанодисперсном уровнях. Наличие в бетонной смеси различных видов заполнителей усложняют процессы структурообразования и твердения. Формирование микроскопической структуры протекает в виде сложной последовательности наноструктурных преобразований. При этом, следует отметить, что развитие нанотехнологии связано не столько с оперированием отдельных атомов и молекул, сколько с рациональным применением нанодисперсных добавок.

Исследуя основные направления наномодифицирования бетонных смесей и бетонов, возможно отметить, что основным объединяющим фактором является сырье, которое может быть природным, техногенным или целенаправленно синтезированным. Минеральные добавки бывают двух видов: практически инертные и обладающие гидравлической активностью. Наноминеральные добавки с гидравлической активностью, связывая $Ca(OH)_2$ и формируя низкоосновные CSH фазы, придают благоприятное изменение образования капиллярных и гелевых субмикропор. Если высокая

эффективность суперпластификатора не вызывает сомнений, то неизвестно что происходит с ним после твердения бетона, тогда как минеральные добавки участвуют в формировании макроструктуры [3].

Армения богата различными природными минералами, которые могут служить хорошим сырьем для производства высококачественных нанодисперсных порошков со стойким химическим, фазовым и гранулометрическим составом. В связи с этим, целесообразно осуществлять широкомасштабные научно-исследовательские работы с целью разработки эффективной технологии производства нанодисперсных порошков-наполнителей. Поскольку развитие нанотехнологии в разных областях прогрессивно внедряется во всем мире и потребность наноматериалов сильно возрастает, то производство их в Армении принесет значительную экономическую выгоду экспортируя их.

Производство высококачественных гидравлически активных нанодисперсных наполнителей будет способствовать созданию наномодифицированных бетонов и до сих пор невиданных железобетонных конструкций и сооружений с повышенной сейсмостойкостью.

ԲԵՏՈՆԻ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻ ՆԱՆՈՉԵՎԱՓՈԽՈՒՄԸ

Ալբերտ Միքայելի Ասիրյան^{1*}, Աննա Ռուբենի Թորգոմյան²

¹ՃՀՀԱՀ, Ակ. Ալ.Թամանյանի անվ. Քաղաքաշինության, ճարտարապետության և շինարարության պրոբլեմային լաբորատորիա, ք.Երևան, ՀՀ,

²Arte Italia furniture ՍՊԸ, ք.Երևան, ՀՀ

*asiryan@ysuac.am

Բերվում է բետոնի նանոտեխնոլոգիայի առաջացման էությունը, որպես տարբեր հիմնադիր նվաճումների գործնական կիրառման հետևանք: Նանոբյուրեղյա հատիկներից կառուցվածքի ձևավորումը թույլ է տալիս բետոնին հաղորդել բարձր հատկություններ ամրության բարձրացման, առանձգականության, թեթևության և երկարակեցության մասով: Դիտարկվում են հարցեր, կապված բետոնի կառուցվածքի ձևավորման գործընթացի ապահով կառավարման հետ: Առաջարկվում է օգտագործել տեղական բնական միներալներ նանոդիսպերսային և հիդրավլիկական ակտիվ փոշիների պատրաստման համար՝ բարձրորակ բետոն պատրաստելու նպատակով:

Առանցքային բառեր. նանոձևավորում, նանոտեխնոլոգիա, բետոնի կառուցվածք, ամրություն, դեֆորմատիվություն, երկարակեցություն

NANOMODIFICATION OF CONCRETE TECHNOLOGY

Albert Asiryan^{1*}, Anna Torgomyan²

¹NUACA, Problem Laboratory of Urban Development, Architecture, Construction after Academician Al. Tamanyan, Yerevan, RA,

²“Arte Italia furniture” LLC

*asiryan@ysuac.am

The essence of emergence of nanotechnology of concrete as a result of practical application of many fundamental achievements of different sciences is given. Formation of structure from nanocrystal grains

allows to give to concrete unprecedented properties in the field of increase in durability, deformability, ease, firmness and durability. The questions connected with positive control of process of formation of structure of concrete are considered. The local natural minerals are proposed to use for manufacturing of nanodispersed and hydraulically active powders in order to produce high-quality concretes.

Keywords: nanomodification, nanotechnology, structure, concrete, strength, deformation, resistance, durability

Литература

1. **Кобаяси Н.** Введение в нанотехнологию. - М.: Бином. лаборатория знаний, 2007. - 134с.
2. Наносистемы в строительстве и производстве строительных материалов: Сборник докладов участников круглого стола. -М.: Изд-во АСВ, 2007. – 135 с.
3. **Ушеров-Маршак А.** Бетонведение. Современные этюды. – Харьков: Раритеты Украины, 2016. – 134 с.

References

1. Kabayasi, N. (2007), *Vvedenie v nanotekhnologiyu* [Introduction to Nanotechnology]. Moscow, Binom. laboratoriya znaniy, 134 p.
2. *Nanosistemi v stroitelstve i proizvodstve stroitelnykh materilaov: Sbornik dokladov uchastnikov kruglogo stola* [Nanosystems in construction and production of building materials: Reports of participants of the round table]. Moscow, ACB, 2007, 135 p. (in Russian)
3. Usharov-Marshak, A. (2016), *Betonovedenie. Sovremennye etyudi* [Concrete studies. Modern etudes]. Harkov, Rariteti Ukraini, 134 p.

Աշխատանքն իրականացված է ՀՀ պետական բյուջեից գիտական և գիտատեխնիկական գործունեության բազային ֆինանսավորմամբ «ՀՀ ճարտարապետական և շինարարական համալիրների կայուն զարգացման ուղիների բացահայտում, ճշգրտում, ներդրման առաջարկությունների և հանձնարարականների մշակում՝ մշտական մոնիտորինգի կիրառմամբ» ծրագրի շրջանակում:

Ասիրյան Ալբերտ Միքայելի, տ.գ.դ., պրոֆ. (ՀՀ, ք.Երևան) - ՃՀՀԱՀ, ակ. Ալ. Թամանյանի անվ. Քաղաքաշինության, ճարտարապետության և շինարարության պրոբլեմային լաբորատորիա, ակ.ա. (+374) 93974040, asiryan@ysuac.am, **Թորգոմյան Աննա Ռուբենի, տ.գ.թ.** (ՀՀ, ք.Երևան) - Arte Italian furniture ՍՊԸ, (+374) 94702007

Асирян Альберт Михайлович, д.т.н., проф. (РА, г.Ереван) – НУАСА, Проблемная лаборатория Градостроительства, архитектуры и строительства им. академ. Ал. Таманяна, с.н.с., (+374) 93974040, asiryan@ysuac.am; **Торгомян Анна Рубеновна, к.т.н.** (РА, г. Ереван) – ООО Arte Italian furniture, (+374) 94702007

Asiryan Albert, doctor of science (engineering), prof. (RA, Yerevan) – NUACA, Problem Laboratory of Urban Development, Architecture, Construction after Academician Al. Tamanyan, (+374) 93974040, asiryan@ysuac.am; **Torgomyan Anna, doctor of philosophy (PhD) in engineering** (RA, Yerevan) – Arte Italian furniture LLC, (+374) 94702007

Ներկայացվել է՝ 06.02.2018թ.

Ընդունվել է տպագրության՝ 15.02.2018թ.