

НАНОБЕТОНЫ

Автор статьи был одним из инициаторов создания в МЭИ наноцентра, в котором в настоящее время осуществляется лицензированная подготовка специалистов по направлению "Наноиндустрия и наноматериалы". Значительное внимание в работе Центра уделяется созданию прикладных нанотехнологий, в частности, разработке нанобетонов.

Термин "нанобетон" объединяет целый класс специализированных бетонов, включающих:

- легкие нанопенобетоны для индивидуального строительства и возведения легких перегородок в помещениях различного назначения;
- нанобетоны средней плотности, обладающие повышенной прочностью и другими качествами, делающими их перспективными для использования в строительстве мостов, дорожных и аэродромных покрытий и т.д.;
- нанобетоны высокой и сверхвысокой прочности для лифтовых шахт, балок, ферм, других несущих конструкций в жилищном и промышленном строительстве.

В табл.1 приведены усредненные характеристики некоторых вышеперечисленных нанобетонов.

Не раскрывая все запатентованные нюансы, стоит отметить лишь две важнейшие технологические особенности изготовления нанобетонов.

Первая: во всех нанобетонах в качестве армирующего материала используются промышленные отходы базальтовой фибры, производимой из расплава базальтовых пород (ГОСТ 4640) и измельченной на специальной лепестковой мельнице. В табл.2 приведены характеристики базальтовых волокон, используемых для армирования нанобетонов.

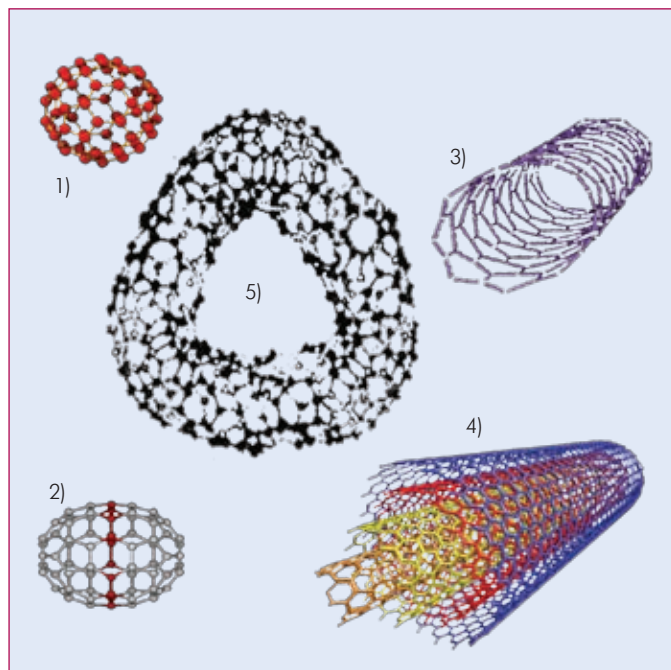
Таблица 1

Класс	Плотность, т/м ³	Прочность на сжатие, МПа	Дополнительные характеристики	Уровень цены долл./м ³ (ноябрь 2007 г.)
Легкие нанобетоны	0,4–0,9	2,0–3,5	Стойкость к трещинообразованию, огнеупорность (до 800°С)	100
	1,0	30		450
Нанобетоны средней плотности	1,5–1,8	30	Устойчивость к трещинообразованию	60
	2,3	50		65
	2,1	60		80
	2,1	90		130
Плотные нанобетоны	2,5	150	Пуленепробиваемость, огнеупорность	700

Вторая, самая важная особенность нанобетонов, – перед упаковыванием измельченной базальтовой фибры в бумажные мешки в ее состав вводят натр едкий 0,05–0,1%, воду 0,3–0,5% и фуллероидный материал, получивший название "Астрален" (табл.3 и рис.). В зависимости от того, какой нанобетон необходимо изготовить, концентрация астралена варьируется от 0,0001 до 0,01% от массы фибры.

Обычно в базальтовой модифицированной микрофибре (МБМ) содержатся следующие элементы, %:

Вата базальтовая измельченная	99,3–99,6
Наномодификатор (астралены)	0,0001–0,001
Натр едкий	0,5–0,1
Вода	0,3–0,5



Структура наиболее широко известных фуллероидов: 1 – фуллерен С-60, 2 – фуллерен С-70, 3 – одно-стенная нанотрубка, 4 – многостенная нанотрубка, 5 – многослойная полиэдральная наночастица – астрален

Срок хранения МБМ – не более 3 месяцев. После его истечения требуется повторное измельчение фибры.

Технология изготовления нанобетонов не требует нового технологического оборудования. Замес осуществляется в стандартных смесителях, причем в начале (не менее 10 мин) цемент и МБМ смешиваются "всухую", затем подаются вода, наполнители и различные добавки.

В зависимости от вида и назначения нанобетона содержание МБМ варьируется в пределах 1,5–20% от массы вяжущего материала, в качестве которого могут быть использованы цементы разных марок, кислотно-зольные смеси, гипсы и т.д.

Важно отметить, что преимущества нанобетонов обусловлены особой структурой, формируемой вследствие самоорганизации цементного камня на наноуровне.

Существует несколько гипотез самоорганизации цементного камня в присутствии астралена или других фуллероидных материалов.

Основная идея сводится к тому, что фуллероидные материалы обладают весьма значительным дипольным моментом

Таблица 2

Показатель	Норма	Метод испытания
Средний диаметр волокна, мкм	8–10	ГОСТ 17177
Средняя длина волокна, мкм	100–500	ТУЗ-3.1210-78
Содержание неволоконистых включений размером более 0,25 мм, % по массе, не более	10	ГОСТ 4640, п.7.4
Насыпная плотность, кг/м ³	800	ГОСТ 17177
Содержание органических веществ, % по массе, не более	2	ГОСТ 17177

Таблица 3

Углерод %, не менее	99,99
Удельный вес (насыпной), г/см ³	0,6–0,8
Размер частиц, нм	80–150
Размер пор, нм	20–60

Таблица 4

Наружный диаметр, нм	10–60
Длина, мкм, мин.	2
Средний размер пор, нм	7
Общий объем примесей, %, макс.	1,5
в том числе аморфный углерод	0,3–0,5
Насыпная плотность, г/см ³	0,4–0,5

том и в присутствии воды выстраивают зерна цементного камня по цепочкам от фуллероида вдоль векторов диполя. Астралены (см. рис.) имеют, в отличие от линейных нанотрубок, кольцевую, объемную, многополярную ориентацию. В результате цементный камень "растет" вокруг астралена звездообразно, проникая в толщу наполнителей своеобразным дополнительным наноармирующим многополярным связующим.

В настоящее время продолжают полупромышленные эксперименты по использованию нанобетонов: с использованием нанобетонов средней плотности с повышенной термо- и влагостойкостью завершилось строительство и сдан в эксплуатацию мост через Волгу у г. Кимры, продолжают испытания нано-асфальтобетонов в дорожном строительстве на Московской кольцевой дороге и магистрали №4 "Дон", в Наноцентре МЭИ исследуется динамика развития цементного камня в присутствии астраленов при затворении раствора водопроводной и дистиллированной водой.

Следует отметить, что в настоящее время десятки промышленных организаций и фирм проводят собственные испытания изделий с применением материалов и рекомендаций Наноцентра. Некоторые фирмы, используя публикации и выставочные экспозиции сотрудников Центра, ведут самостоятельные исследования нанобетонов.

В табл.4 приведены, например, параметры углеродных нанотрубок марки "Таунит", производимых в ГГТУ. По рекомендации Наноцентра Калининградский комбинат ЖБИ использовал "Таунит" в качестве наностимулятора и получил нанобетоны, прошедшие положительную аттестацию в НИИ ЖБК.

Все это позволяет надеяться, что уже в обозримом будущем произойдет промышленное внедрение нанобетонов, которое позволит получить значительный экономический эффект, поскольку при увеличении потребительских характеристик нанобетонов в 4–6 раз их стоимость выше обычных не более чем на 10–20%.