

Строим с приставкой «нано»

Начало XXI в. ознаменовалось переходом мировой экономики к VI технологическому укладу, в котором определяющую роль играют наноматериалы. Многие думают, что это нечто исключительно из сферы космической промышленности и электроники. На самом деле сегодня они используются в самых разных отраслях, например, в строительстве.



Новый материал литракон

Петр ВИТЯЗЬ,
руководитель аппарата НАН
Беларуси, академик, доктор
технических наук, профессор
Валерий ГОРОБЦОВ,
ведущий научный сотрудник
Объединенного института
машиностроения НАН Беларуси,
доктор технических наук

Производство строительных материалов - процесс весьма трудоемкий и энергозатратный. Основным строительным материалом является бетон, в котором в качестве вяжущего используется цемент, получаемый в результате обжига клинкера - смеси известняка, глины и гипса. При обжиге каждой тонны клинкера в атмосферу выбрасывается 860 кг углекислого газа. Поскольку в мире ежегодно производится более 3,8 млрд. т цемента, эмиссия углекислого газа в рамках данного производственного процесса составляет до 10% мирового выброса CO₂. Но не только экология - слабая сторона про-

мышленности стройматериалов. Производство цемента энерго- и капиталоемко: расходы на энергоносители составляют от 30 до 40% издержек.

Между тем цемент - уникальный материал. Доступность сырья, способность при взаимодействии с водой связывать песок, щебень и гравий в единый монолит при комнатной температуре - все это обеспечило его широкое использование при изготовлении бетона - основного строительного материала.

В отличие от электроники и машиностроения производство строительных материалов - отрасль довольно консервативная, но и в ней за последние годы произошли определенные изменения. Основные тенденции связаны с увеличением мощностей, снижением расходов и негативного влияния на экологию, повышением уровня автоматизации.

При этом настоящего прорыва удалось достичь с началом использования наночастиц в технологическом процессе. К слову, еще в 80-х гг. прошлого века цемент модифицировали с помощью введения сферических наночастиц конденсированного оксида кремния SiO₂ (*Silica Fume, SF, нанокварц*), образующихся в отходящих газах печей для выплавки ферросилиция. Средний размер таких частиц - 100 нм, удельная поверхность - 20 000 м²/кг. Они уплотняют вяжущее, заполняя полости между зернами цемента. Это снижает пористость, повышает реологию и прочность бетона за счет «эффекта шарикоподшипника».

Но тонкое измельчение сырьевых материалов и клинкера - энергоемкий процесс, на него приходится около 60% себестоимости цемента, причем с увеличением тонкости помола снижается производительность оборудования. Решением проблемы является использование для измельчения вместо тихоходных барабанных мельниц высокоскоростных планетарных и роторно-вихревых мельниц ударного типа. Освоение таких машин сродни переходу от поршневой авиации к реактивной. В Институте гидротехники (С.-Петербург) через планетарную мельницу пропустили цемент марки прочности 300 и за счет измельчения и механоактивации получили цемент марки 800. При ударном воздействии в кристаллической решетке материала появляется множество дефектов, ускоряющих диффузионные процессы, в результате температура химических реакций понижается, а их скорость существенно возрастает. Технологическое решение позволяет организовать производство дешевого нанокварца. В роторно-вихревой мельнице «Флаттор» российской компании «Новые технологии - инжиниринг» измельчение происходит в результате многократного соударения частиц друг с другом. Воздух разгоняется вращающимся ротором, скорость обечайки которого более 250 м/с.

До настоящего времени разработка строительных материалов велась методом проб и ошибок, а не путем изучения физико-

химических процессов. Современные методы и научное оборудование позволяют исследовать структуру и свойства строительных материалов на наноуровне, снизить микропористость и значительно повысить прочность.

Например, в США впервые изучена гидратация цемента на наноуровне при использовании пучка атомов азота, что позволило определить глубину проникновения воды в зерно цемента и состав продуктов реакции, образующихся на поверхности зерна при гидратации. Установлено, что через поверхностный полупроницаемый слой толщиной 20 нм вода поступает в цементное зерно и вымывает ионы кальция, а большие ионы силиката через этот слой не проходят. Образующийся гель силиката вызывает увеличение размеров (разбухание) цементного зерна и разрушение тонкого полупроницаемого слоя. В результате концентрация силиката в окружающем растворе возрастает, и он реагирует с ионами кальция с образованием геля кальция - силикат - гидрат, который и связывает воедино цемент, песок и щебень, образуя монолит.

С МИРУ ПО НИТКЕ...

Университеты и лаборатории всего мира работают над созданием новых материалов, постоянно увеличивая их предложение на глобальном рынке разработок.

В 90-е гг. в Мичиганском университете профессор Виктор Ли разработал самозалечивающий-

ся гибкий бетон ECC (Engineered Cementitious Composite - строительный композит на минеральном вяжущем). Деформация обычного бетона при изгибе составляет лишь 0,01 %, у ECC она в 500 раз больше - 5%! Это объясняется взаимодействием ионов Ca^{+} и OH^{-} в цементном растворе с ПВА волокнами.

Гибкий бетон, который значительно дороже обычного, применяется при строительстве высотных зданий и сооружений в сейсмоопасных районах. В частности, он использовался при возведении стоэтажного жилого дома в г. Осака (Япония).

Существенный вклад в разработку и освоение новых строительных материалов вносят российские ученые. У наших соседей растет производство легких нанобетонов с применением базальтового фиброволокна, модифицированного углеродными нанокластерами на основе астраленов - углеродных многослойных полиэдральных наночастиц фуллероидного типа - астралена C^{60} . Их введение в бетонные смеси в самом незначительном количестве (< 0,001 %) приводит к росту в составе цементного камня протяженных структур длиной в сотни мкм. Такие образования приводят к самоармированию цементного камня и его упрочнению. Материал был использован в 2007 г. при реконструкции автомобильного моста через Волгу в городе Кимры. Кимрский мост длиной 555 м с высотой пролетов 16,4 м и шириной проезжей части 15 м находился в предаварийном состоянии из-за большого проседания дорожного полотна из обычного бетона плотностью 2,4 т/м³. Его заменили легким нанобетоном, разработанным в ЗАО «НТЦ Прикладных нанотехнологий» (С.-Петербург). Это позволило снизить расходы почти в 2 раза и исключить проседание дорожного полотна.

Перспективно применение композитов нового класса с наноцементом в качестве минерального вяжущего, для которого характерны такие уникальные свойства, как доступность, низкая стоимость, пластичность,





температуростойкость до 600 °С, способность взаимодействовать с водой и кварцем при комнатной температуре и др.

При замене оксида кальция материалом, который не требует высокотемпературного обжига, например, оксидом магния, можно не только уменьшить эмиссию углекислого газа, но значительно снизить себестоимость цемента. В этом направлении работают ученые БНТУ. Здесь разработан магниезольный цемент, при обжиге которого энергозатраты в два раза меньше, чем портландцемента. Сырьевой базой для получения магниезольного цемента может служить крупное месторождение доломита $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ в Витебской области с разведанными запасами свыше 900 млн. т.

Добавление в бетон углеродных нанотрубок и нановолокон в количестве 1-5% от массы обеспечивает повышение прочности не столько за счет армирования, сколько за счет направленного регулирования кристаллизационных процессов. Углеродные нанотрубки способствуют возникновению удлиненных кристаллов. Разрастаясь и переплетаясь, они образуют пространственную структуру, пронизывающую и связывающую цементный камень. При этом прочность бетона возрастает на 10-15%. Правда, пока сдерживающим фактором использования углеродных нанотрубок и нановолокон является их высокая стоимость.

А в 2002 г. в Венгрии запатентовали прозрачный бетон литракон. Эффект прозрачности достигается за счет оптических волокон, находящихся в материале. Через них свет проникает сквозь

бетонный блок. Прочностные характеристики не страдают, а декоративность становится неподражаемой. Светопроницаемые блоки позволяют сделать интерьер жилого помещения более легким и воздушным, создавая иллюзию отсутствия массивных стен. Через литракон можно разглядеть силуэты, очертания и даже цвет объектов, находящихся непосредственно за материалом. При всем этом светопроводящая способность не зависит от толщины изделия: будь то плита в 20 мм или блок размером полметра. Обладающий подобными свойствами материал имеет огромные перспективы применения в строительстве и отделочных работах.

ОТ СЫРЬЯ - К МАТЕРИАЛАМ И КОНСТРУКЦИЯМ

В ОАО «Московский ИМЭТ» найдено простое решение, позволяющее получать эффективные ограждающие конструкции на основе керамзита, гранул пенополистирола, бумаги и других наполнителей. Новый материал «КАПСИМЭТ» получают путем омоноличивания сферических частиц. Его структура напоминает плотную пространственную упаковку. Наиболее важные достоинства материала - эффективное использование легкого или крупного заполнителя непосредственно в ограждающей конструкции и низкая сорбционная способность (поглощает не более 1% влаги). По характеристикам «КАПСИМЭТ» можно отнести к конструкционно-теплоизоляционным материалам, что позволяет возводить из него самонесущие и несущие стены и жесткие утепляющие

слои кровель. Разработан капсулированный нанобетон. Суть запатентованной технологии производства в том, что исходный цемент измельчается до субмикронных размеров и покрывается равномерным слоем пластмассы толщиной 30-100 нм (капсулируется). Капсулированный нанобетон, имеющий высокую прочность и срок хранения больше года (вместо обычных 2-3 месяцев), использовался при строительстве сооружений сочинской Олимпиады.

Дорожное покрытие без трещин может стать реальностью. В этом направлении активно работают ученые Института общей и неорганической химии НАН Беларуси. Здесь разработаны битумно-эмульсионные технологии и наноструктурированные полимерные водные системы для дорожного и гражданского строительства. Предложенные эмульсии имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционным горячим битумом и его смесями. В их числе экологическая чистота, малая энергоемкость и более высокое качество покрытий, гарантирующее длительный срок службы. По оценкам, внедрение в практику дорожного строительства новых эмульсионных технологий улучшит сцепление колес автомобиля с дорожным полотном, снизит стоимость работ на 25% и увеличит срок службы дорожного полотна с 2-3 до 6-7 лет.

Материал нового поколения - сверхтонкая жидкая керамическая теплоизоляция «Броня» Волгоградского инновационного ресурсного центра имеет очень низкую теплопроводность, обладает великолепной адгезией и эксплуатируется в условиях от -60 до +250 °С. По консистенции «Бронию» можно сравнить с густой краской, которая наносится практически на любую поверхность. Ее слой толщиной 1 мм обладает тем же теплоизолирующим эффектом, что и 50-60 мм минеральной ваты. Помимо тепловых потерь данный вид изоляции предупреждает образование конденсата и обеспечивает антикоррозийную защиту.

Новые материалы

Фасады должны быть чистыми! С этим утверждением нельзя не согласиться, но как сделать так, чтобы фасад здания всегда выглядел как новый? Проблема традиционных красок в том, что со временем загрязнения на них становятся заметными, особенно на наиболее подверженных атмосферным воздействиям сторонах зданий. «Учиться у природы» - под этим девизом профессор Боннского университета *Вильгельм Бартлотт* открыл «Лотос-эффект». Он обратил внимание на листья лотоса, которые остаются всегда чистыми и сухими, даже после дождя. Это удивительное явление обусловлено шероховатой поверхностью в сочетании с высокими водоотталкивающими свойствами. Эффект самоочищения цветка сперва смогли перенести на фасадную краску, а затем и на штукатурку. В результате появились краска и штукатурка «Лотусан» - первый пример успешного применения данного принципа на практике. С помощью специальных наномодификаторов создается ультрадисперсная водоотталкивающая поверхность, по которой капли влаги скатываются с фасада, смывая частицы загрязнителей, а их в современных городах хватает. Сажа из выхлопных труб автомобилей, бытовая пыль, пыльца цветов, деревьев оседают на поверхностях зданий, создавая питательную среду для микроводорослей и плесени. В результате - грязные полосы и потеки, нарушение цвета, разрушение и обрушение покрытий. Новый материал помогает избежать или по крайней мере отсрочить время, когда фасады придется переделывать.

Как никогда актуальны вопросы энергоэффективности при

эксплуатации зданий. По сравнению с другими «холодными» странами Европы расход тепла на 1 м² в Беларуси вдвое выше. Больше всего тепла уходит из дома через окна. По данным тепловизорных обследований, на светопрозрачные наружные ограждения приходится более 40% потерь энергии. Энергосберегающие окна называют низкоэмиссионными. Обладая хорошей светопропускающей способностью, они обеспечивают высокие показатели коэффициента теплоизоляции. С технической точки зрения, такие стекла представляют собой полированное стекло, на которое нанесено специальное покрытие из оксидов металлов, обеспечивающее снижение доли энергии, излучаемой стеклом в направлении этого покрытия. Если в случае с обычным стеклом накопленная им энергия излучается с одинаковой интенсивностью как внутрь, так и наружу (что означает потери тепла), то излучение наружу у низкоэмиссионного стекла многократно падает, соответственно уменьшаются теплотери - на 55-60%. Энергосберегающее стекло позволяет делать стеклопакет однокамерным (!), а значит, более легким. Стоит отметить, что конечная стоимость оконной конструкции не выше традиционной системы остекления, а в некоторых случаях даже ниже.

ЗАМКИ ИЗ ПЕСКА

Команда российского архитектора и изобретателя *Владимира Попова* и вовсе предлагает строителям отказаться от цемента, бетона, а использовать песок. В.Попов разработал высокоскоростные мельницы, перемалывающие песок и глину до субмикронных частиц, которые затем

формируются и спекаются в легкие и очень прочные керамические конструкции. Из них можно строить и многоквартирные дома, и дома-усадыбы. «Никакого производства сплошного кирпича для тупой кладки! Благодаря нашим технологиям и прочности керамики мы делаем фигурные конструкции с пустотностью до 90%, - утверждает разработчик. - То есть мы можем заменить десять кирпичей одним нашим керамоблоком, что по массе равняется всего полутора кирпичам. Видите, какая экономия!»

Если лучший современный кирпич имеет марку 300, то марка керамоблока В.Попова 2500. Почувствуйте разницу. Сегодня о таком прочном и легком материале строители могут только мечтать...

В настоящее время строительные наноматериалы и нанотехнологии находятся на стадии перехода от фундаментальных исследований к индустриальной практике, но уже сейчас виден огромный и не до конца осознанный потенциал их использования в строительной индустрии. Появилась возможность создавать новые высокопрочные и дешевые материалы с высокой добавленной стоимостью, которые заменят традиционные цемент, бетон и другие привычные атрибуты стройки.

Становление отечественной nanoиндустрии и ее эффективное использование предусматривает Концепция формирования



Керамоблок В.Попова

и развития nanoиндустрии в Республике Беларусь в 2012-2015 гг. и на период до 2020 г., утвержденная постановлением Совмина от 18.02.2013 г. № 113.

Создание строительной nanoиндустрии позволит решить ряд проблем в экономике и социальной сфере. И это уже не наука, а скорее политика.

Сравнительная таблица эффективности энергосбережения в окнах разного типа

Ориентация по сторонам света	Традиционные окна: потери энергии, кВт·ч/м ²	Окна с энергосберегающим стеклом: потери энергии, кВт·ч/м ²	Сокращение потерь энергии при использовании энергосберегающего стекла, %	Годовой экономический эффект, долл./м ²
Юг	161	53	67	44,10
Север	276	131	52	65,00
Запад/Восток	231	101	56	56,83