

Принципы получения ячеистых фибробетонов с применением наноструктурированного вяжущего¹

В.В.Строкова, Н.В.Павленко, М.Н.Капуста

Высокие энергозатраты при производстве цемента и отрицательные его последствия для экологии в современных условиях вынуждают искать пути сокращения использования портландцемента в бетоне. С этой целью реализуется применение тонкомолотых цементов (ТМЦ), цементных вяжущих низкой водопотребности (ВНВ), а также в качестве активных компонентов – композиционных вяжущих таких материалов, как зола-унос, микрокремнезем, доменный гранулированный шлак и др. Кроме того, активно ведутся разработки вяжущих материалов, альтернативных портландцементу, с принципиально новым механизмом твердения.

Наноструктурированное вяжущее (НВ) является перспективным видом бесцементного вяжущего негидратационного типа твердения. Это вяжущее с существенной функционально-структурообразующей ролью наносистемной компоненты, получаемое по технологии высококонцентрированных вяжущих систем (ВКВС) [1].

Специфика технологии НВ позволяет использовать в качестве основного сырьевого компонента широкий спектр кремнеземсодержащих пород. Для выбора наиболее эффективного сырьевого материала при получении НВ и материалов на их основе проводились исследования горных пород различных генетических типов с учетом степени локализации залежей

кремнеземсодержащих сырьевых материалов в регионе, где планируется осуществлять производство вяжущего [1].

Поскольку изначально высококонцентрированные вяжущие были получены из техногенного аморфного кремнезема [2], в ходе исследования нашла экспериментальное подтверждение принципиальная возможность получения НВ на основе эффузивных кремнеземсодержащих пород, к которым относится перлит. Согласно генетической классификации горных пород как сырья для производства строительных материалов перлит является одной из наиболее энергонасыщенных по причине ее принадлежности к алюмосиликатным эффузивным образованиям с высоким содержанием стекловидной фазы [3, 4].

Специфика наноструктурированных вяжущих позволяет рекомендовать их для производства теплоизоляционных и конструктивно-теплоизоляционных ячеистых бетонов. При синтезе ячеистых композитов управление структурообразованием теплоизоляционных материалов является основополагающим процессом. Применение НВ способствует получению материалов с оптимальной ячеистой структурой, которая характеризуется равномерно распределенными, полидисперсными, замкнутыми, деформированными в правильные многогранники порами, глянцевой поверхностью припорового слоя, разделенными тонкими и плотными, одинаковыми по сечению межпоровыми перегородками. Уменьшение пористости межпоровой перегородки обосновано наличием нанодисперсных частиц в НВ и в формовочных системах на его основе (рис. 1). Это позволяет получить

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (соглашение 14.В37.21.0930, государственное задание 3.4601.2011) в рамках гранта Президента Российской Федерации для поддержки молодых российских ученых (МК 6170.2013.8).

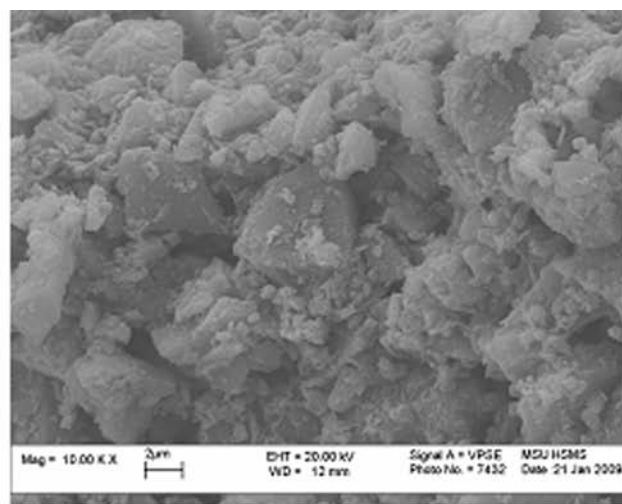
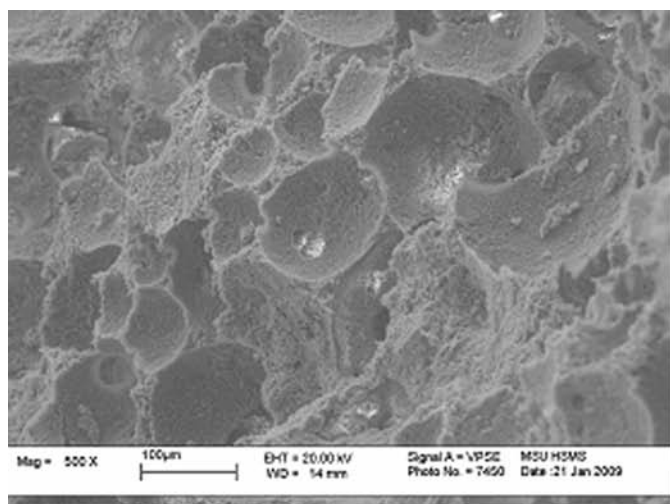


Рис. 1. Ячеистые бетоны на основе наноструктурированного вяжущего

материал с низкой плотностью (300–400 кг/м³) и высокими прочностными характеристиками (3–4 МПа).

Основными достоинствами наноструктурированного вяжущего являются низкая себестоимость и высокая технологичность. Низкая себестоимость обусловлена доступностью и широчайшей распространенностью минерального сырья для его производства и, как следствие, минимальными транспортными расходами, отсутствием энергозатрат на высокотемпературную обработку сырья и неограниченным сроком хранения.

Использование НВ позволяет решить ряд проблем, связанных с низкой прочностью и деформационной стойкостью, и получить ячеистые бетоны с улучшенными теплофизическими характеристиками без применения цемента.

При апробации и масштабировании технологии получения пенобетона на основе НВ в условиях Инновационного опытно-промышленного центра наноструктурированных композиционных материалов (ИОПЦ НКМ) БГТУ им. В.Г. Шухова были выявлены некоторые технологические нюансы: производство крупногабаритных изделий требовало увеличения времени набора распалубочной прочности, нарушалась четкость геометрических размеров пенобетонных блоков на основе НВ. Ранее получение ячеистых композитов на основе цементного вяжущего создавало возможность улучшения характеристик ячеистого бетона при его армировании волокнистыми добавками [5]. Этим объясняется актуальность применения микроармирования ячеистых композитов на основе НВ, позволяющего интенсифицировать процессы структурообразования при масштабировании технологии.

Микроармирование пенобетона было реализовано за счет использования минерального и органического волокна. В зависимости от диаметра различают несколько видов волокна, состоящего из коротких отрезков одиночных волокон: микроволокно – 0,5 мкм; ультратонкое – 0,05–1,0; супер-тонкое – 1–3; тонкое – 3–11; утолщенное – 11–20; грубое волокно – 20 мкм [6].

При выборе фибры нужно руководствоваться не только ее свойствами, но и их взаимодействием, а также видом матричной системы, длиной и диаметром волокон.

Для получения микроармированных ячеистых композитов на основе НВ были использованы два вида фиброволокон: базальтовые и полипропиленовые с различной длиной волокна (6 и 12 мм). Наиболее равномерное распределение фиброволокна в системе пеномассы достигается при его введении на стадии активации водных растворов пенообразователей. Фибра выполняет роль микроармирующего компонента, модифицирующего структуру ячеистых строительных композитов на микроуровне. За счет химического и физико-механического взаимодействия фибра быстро и гомогенно распределяется по всему объему смеси. Благодаря этому создается эффект объемно-пространственного армирования, препятствующего образованию и развитию внутренних дефектов бетона.

Эффект микроармирования при введении фиброволокна объясняется тем, что гибкие волокна, длина которых значительно превышает размеры их поперечного сечения, а также мельчайших частиц вяжущего, способны искривляться под действием поверхностных сил, развивающихся в пенобетонных смесях при перемешивании компонентов. Микроармированные пенобетонные смеси характеризуются повышенной агрегативной устойчивостью и кинетикой пластической прочности. Эти качества определяют существенное уменьшение числа дефектов, возникающих в смеси под действием гравитационных сил и коалесценции пенных пленок в период перехода от вязких связей к упругопластическим. На поверхности микроармирующих волокон закономерно формируется структура бетонной смеси, способность которой к накоплению дефектов в виде трещин ограничивается геометрическими параметрами и количеством фибры, соответственно снижается возможность усадки при структурообразовании ячеистых композитов [7].

Изучение микроструктурных особенностей пенобетонных подтверждает выдвинутую гипотезу о положительном влиянии микроармирования на процессы структурообразования ячеистых композитов с применением наноструктурированного вяжущего.

Микроармированные пенобетоны на основе НВ характеризуются ярко выраженной ячеистой структурой с четкими границами между порами и гладкими стенками пор. Основную массу микроармированного пенобетона образует полидисперсный обломочный материал с высокой степенью плотности упаковки.

Фиброволокно игольчатого строения, выступающее в качестве армирующего компонента, позволяет стабилизировать ячеистую структуру, препятствует слиянию пор в горизонтальном направлении, образованию трещин. Четкие границы раздела фиброволокна и общей пеномассы свидетельствуют об отсутствии взаимодействия полипропиленовой фибры с НВ кремнеземсодержащего состава (рис. 2 а, б). За счет использования полипропиленовых волокон достигается уменьшение плотности межпоровой перегородки, при этом снижается давление последней на внутривпоровое пространство и целостность поры не нарушается.

Применение полипропиленового фиброволокна способствует интенсификации процесса структурообразования ячеистых композитов, а поскольку оно еще обладает эффектом воздухововлечения – то и образованию дополнительных каналов в структуре композита, что ускоряет процесс сушки.

При анализе микроструктуры пенобетонных на основе НВ и различного микроармирующего компонента прослеживаются различия в структуре композитов с применением базальтового и полипропиленового фиброволокна. На снимках видно, что базальтовая фибра, в отличие от полипропиленовой, взаимодействует с системой вяжущего (рис. 3).

Базальтовая фибра характеризуется большей адгезионной способностью к вяжущему компоненту, поэтому частицы

твердой фазы концентрируются на поверхности волокна, толщина межпоровой перегородки уменьшается, как и ее прочность. На прочностные характеристики ячеистых бетонов наибольшее влияние оказывает дефектность межпоровой перегородки. Соответственно, при получении теплоизоляционных микроармированных композитов целесообразно применение фиброволокна, которое не взаимодействует с матрицей композита, а выступает в качестве направляющего при структурообразовании, что позволяет снизить усадочные деформации, сократить продолжительность структурообразования ячеистых композитов и интенсифицировать технологическую стадию расформовки изделий.

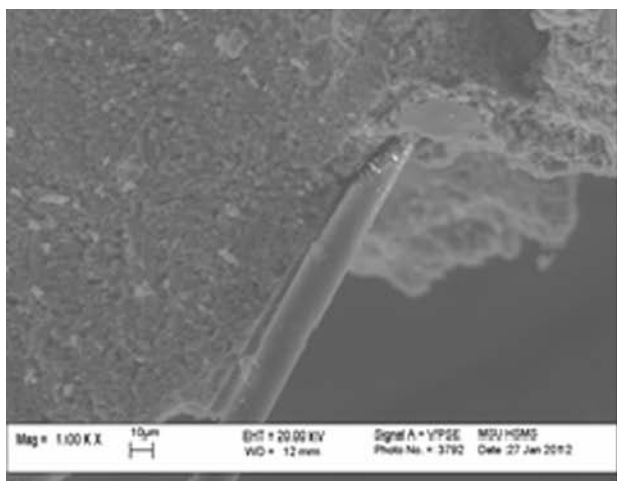
Микроармирование ячеистых композитов на основе НВ за счет введения фиброволокна способствует повышению качества поверхности изделий и снижению временных затрат на реализацию технологического цикла их производства.

Использование НВ дает возможность получать ячеистые композиты с высокими технико-эксплуатационными характеристиками и тем самым создавать эффективные облегченные

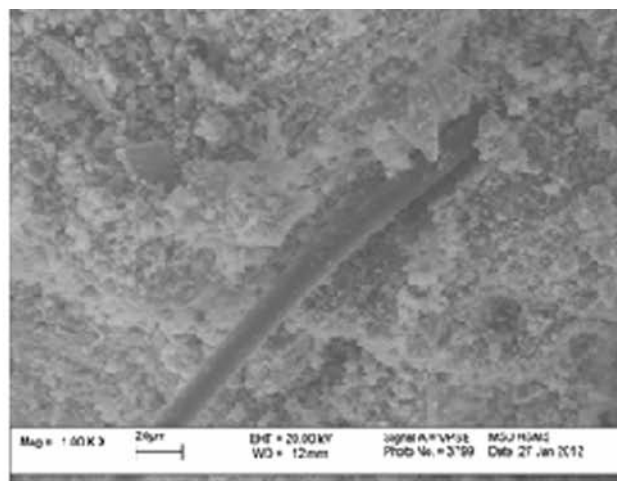
стенные конструкции минимальной толщины, которые обеспечат: увеличение полезной площади помещения, уменьшение нагрузки на фундамент и повышение эффективности строительства; снижение себестоимости строительства за счет более дешевых технологий производства стройматериалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками; снабжение регионов, испытывающих дефицит в производстве цемента, альтернативным вяжущим.

Литература

1. *Мирошников Е.В., Строкова В.В., Череватова А.В., Павленко Н.В.* Наноструктурированное перлитовое вяжущее и пенобетон на его основе // *Строительные материалы*. 2010. №9. С. 105–106.
2. *Пивинский Ю.Е.* Теоретические аспекты технологии керамики и огнеупоров. Т.1. СПб.: Стройиздат, 2003.
3. *Лесовик В.С.* Повышение эффективности производства строительных материалов с учетом генезиса горных пород. М.: АСВ, 2006.



а



б

Рис. 2. Микроструктура пенобетона на НВ с полипропиленовой фиброй

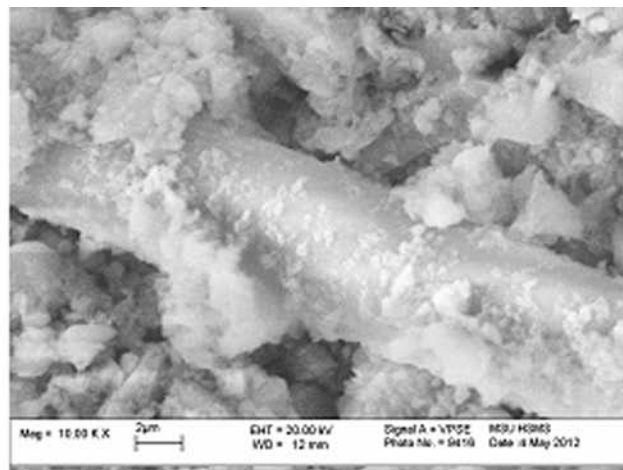
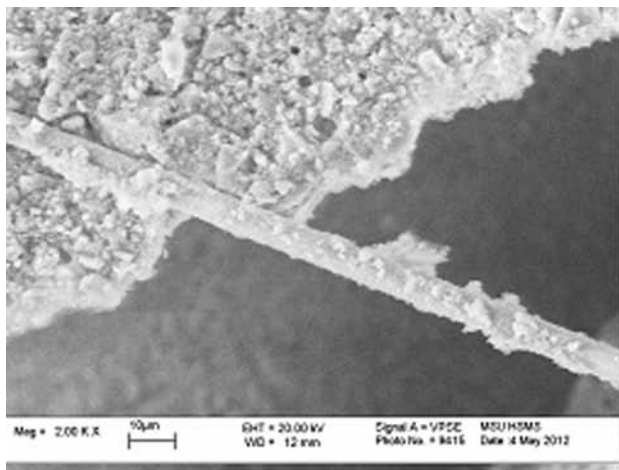


Рис. 3. Микроструктура пенобетона на основе НВ с базальтовой фиброй

4. Шаповалов Н.А., Строчкова В.В., Череватова А.В. Оптимизация структуры наносистем на примере ВКВС // Строительные материалы. 2006. № 9. С. 16–18.

5. Меркин А.П., Зейфман М.И. Новые технологические решения в производстве ячеистых бетонов. М.: ВНИИЭСМ, 1982.

6. Хархардин А.Н. Структурная топология дисперсных материалов. Белгород: РИЦ БГТУ, 2011.

7. Фадеева В.С. Формирование структуры пластичных паст строительных материалов при машинной переработке. М.: Стройиздат, 1972.

8. Моргун Л.В., Моргун В.Н. Влияние дисперсного армирования на агрегативную устойчивость пенобетонных смесей // Строительные материалы. 2003. №1. С.33–35.

Literatura

1. Miroshnikov Ye.V., Strokova V.V., Cherevatova A.V., Pavlenko N.V. Nanostrukturirovannoe perlitovoe vyazhushchee i penobeton na yego osnove // Stroitelnye materialy. 2010. №9. S. 105–106.

2. Pivinsky Yu.Ye. Teoreticheskie aspekty tehnologii keramiki i ogneuporov. T.1. SPb.: Strojizdat, 2003.

3. Lesovik V.S. Povyshenie effektivnosti proizvodstva stroitelnykh materialov s uchetom genezisa gornyykh porod. M.: ASV, 2006.

4. Shapovalov N.A., Strokova V.V., Cherevatova A.V. Optimizatsiya struktury nanosistem na primere VKVS // Stroitelnye materialy. 2006. № 9. S. 16–18.

5. Merkin A.P., Zeyfman M.I. Novye tehnologicheskie resheniya v proizvodstve yacheistykh betonov. M.: VNIIESM, 1982.

6. Kharkhardin A.N. Strukturnaya topologiya dispersnykh materialov. Belgorod: RITS BGTU, 2011.

7. Fadeyeva V.S. Formirovanie struktury plastichnykh past stroitelnykh materialov pri mashinnoy pererabotke. M.: Strojizdat, 1972.

8. Morgun L.V., Morgun V.N. Vliyanie dispersnogo armirovaniya na agregativnuyu ustojchivost penobetonnykh smesey // Stroitelnye materialy. 2003. №1. S.33–35.

Principles of Production of Fibro-Reinforced Cell-Concretes Based on Nanostructured Binder. By V.V.Strokova, N.V.Pavlenko, M.N.Kapusta

With the development and rapid growth of monolithic and low-height cottage housing cellular concrete became a promising material for efficient wall constructions. This article describes the basic scientific-and-technological principles of obtaining cellular fibrous concretes based on cementless nanostructured binder of a nonhydration hardening type. It was detected that the most effective reinforcing component for the composites based on nanostructured binder is polypropylene fiber. Micro-reinforcement provides the reduction of micro-shrinkage and intensification of structure formation.

Ключевые слова: наноструктурированное вяжущее, пенобетон, микроармирование, ячеистые композиты.

Key words: nanostructured binder, foamconcrete, micro-reinforcement, cell concrete.