

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ АВТОКЛАВНЫЙ ЯЧЕИСТЫЙ БЕТОН, МОДИФИЦИРОВАННЫЙ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ

POWER EFFICIENT AUTOCLAVED AERATED CONCRETE MODIFIED CARBONIC NANOTUBES

А. А. Мечай¹, М. П. Мисник¹, В. Л. Колпащиков²

¹Белорусский государственный технологический университет, e-mail: aa_m@tut.by

²Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова, e-mail: vlk@hmti.ac.by

В последние годы в мире сформировалось новое научно-техническое направление, связанное с получением и применением углеродных нанотрубок, обладающих высокой поверхностной энергией и мощным дисперсионным взаимодействием [1]. Это открывает новые возможности для создания широкого спектра наномодифицированных строительных материалов. Углеродные наноматериалы в весьма малых концентрациях способствуют улучшению физико-механических характеристик строительных материалов: повышению прочности и величины модуля упругости, повышению водонепроницаемости и морозостойкости, снижению значений деформации усадки.

Стоимость углеродных нанотрубок зависит от степени очистки, поэтому может отличаться в сотни раз. Для строительных материалов чаще используют углеродные нанотрубки, полученные первичным синтезом без дорогостоящей операции очистки, стоимостью около 100 евро за 1 кг, что при их дозировке в пределах 0,001–0,015% является экономически оправданным

Нанотехнологии весьма эффективно используются при изготовлении тяжелого цементного бетона для улучшения его физико-механических свойств и долговечности. В то же время практически не разрабатывается направление по модифицированию углеродными наноматериалами структуры продуктов гидросиликатного твердения автоклавного ячеистого бетона. Тем не менее, родственность указанных вяжущих систем является предпосылкой к эффективному использованию углеродных нанотрубок для улучшения свойств данного материала за счет качественного изменения процессов кристаллизации.

Одной из актуальных проблем в производстве ячеистого бетона является необходимость снижения его плотности при сохранении достаточной прочности. Снижение плотности стеновых блоков из ячеистого бетона с 400–500 кг/м³ до 250–350 кг/м³ позволит увеличить коэффициент термического сопротивления на 40–50%, снизить расход цемента и извести на 20–30%, на 30–40% сократить энергозатраты на помол сырья за счет снижения его удельного расхода, обеспечить сохранность изделий при транспортировке и снизить нагрузку на фундамент при строительстве [2]. Таким образом, совершенствование технологии ячеистого бетона в этом направлении является важной задачей, решение которой обеспечит энерго- и ресурсосбережение в производстве данного вида материала, а также при его использовании в строительстве.

На основании вышеизложенного были проведены поисковые исследования по использованию углеродных нанотрубок для модифицирования структуры ячеистого бетона автоклавного твердения. С учетом опыта модифицирования структуры тяжелого цементного бетона [3–4] на начальном этапе работы углеродные нанотрубки вводились в ячеистобетонную смесь в виде суспензии, что не привело к повышению прочности. В связи с этим была сформулирована гипотеза, объясняющая отсутствие прироста прочности ячеистого бетона и невысокий прирост прочности тяжелого цементного бетона. Для эффективной работы углеродных нанотрубок в качестве центров направленной кристаллизации при гидросиликатном твердении необходимо обеспечить присутствие нанотрубок не в порах, а непосредственно в области взаимодействия кварца и Са(ОН)₂. В связи с этим были изучены

несколько вариантов ввода углеродных нанотрубок в ячеистобетонную смесь: при сухом и мокром помоле песка и при помоле известково-песчаного вяжущего.

Результаты проведенных экспериментов по получению наномодифицированного автоклавного ячеистого бетона представлены для плотности 300 кг/м^3 . Дозировка углеродных нанотрубок составляла 0,01% от массы сухих компонентов ячеистобетонной смеси. Запаривание образцов проводилось в лабораторном автоклаве при избыточном давлении насыщенного водяного пара 1,0 МПа и времени выдержки при рабочем давлении 6 часов.

На рисунке 1 представлены зависимости коэффициента конструктивного качества (ККК)² бетона от времени помола сырья при введении углеродных нанотрубок (УНТ).

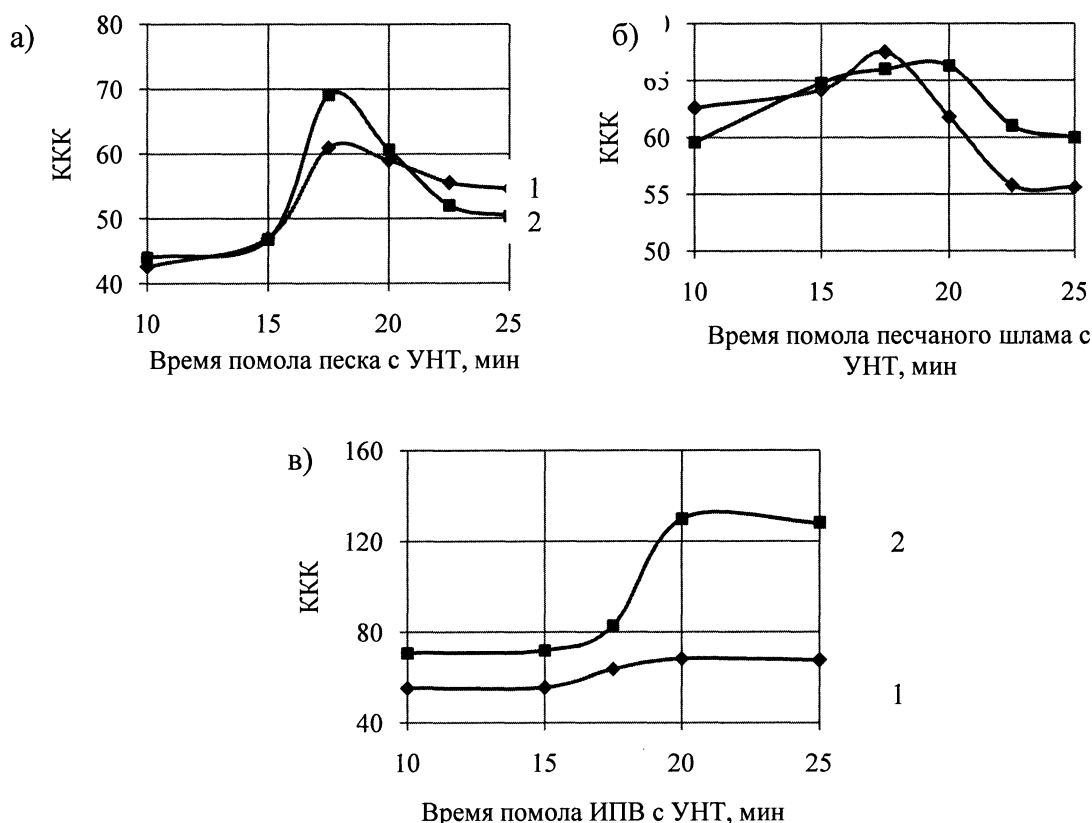


Рисунок 1 – Зависимости ККК ячеистого бетона от времени помола сырья с УНТ.

а) – с песком; б) – с песчаным шламом; в) – с известково-песчаным вяжущим.

1 – контрольный образец; 2 – наномодифицированный образец

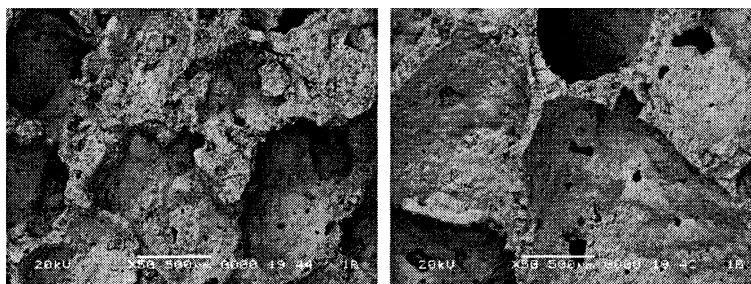
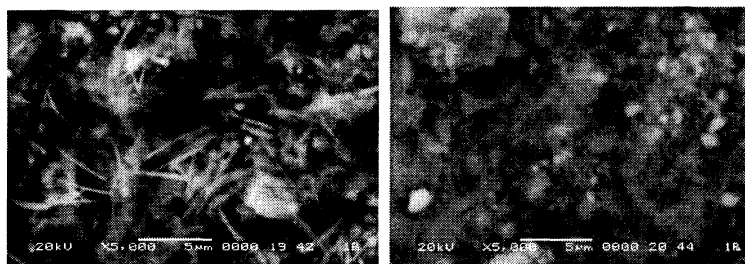
Анализ полученных зависимостей показал, что наиболее эффективным является ввод углеродных нанотрубок в состав известково-песчаного вяжущего при совместном помоле кварцевого песка и извести. Коэффициент конструктивного качества наномодифицированного ячеистого бетона по сравнению с контрольным образцом увеличился в 1,9 раза. В то же время введение углеродных нанотрубок в состав песка при его помоле по сухому и мокрому способам является неэффективным либо приводит к незначительному увеличению прочности.

На основании анализа электронно-микроскопических снимков (рисунок 2) установлено, что макроструктура наномодифицированного образца отличается меньшей степенью дефектности по сравнению с контрольным образцом.

Микроструктура межпорowych перегородок контрольного образца характеризуется наличием волокнистых кристаллов и высокой пористостью. Межпорowych перегородки наномодифицированного образца ячеистого бетона представлены более плотной микроструктурой, в

² Коэффициент конструктивного качества (ККК) – это отношение предела прочности при сжатии к квадрату средней плотности материала [5].

которой невозможно идентифицировать кристаллы при увеличении $\times 5000$. По-видимому, это вызвано образованием более мелких кристаллов за счет изменения механизма формирования структуры цементирующего вещества в присутствии наноразмерных центров направленной кристаллизации.

увеличение $\times 50$ увеличение $\times 5000$

а)

б)

Рисунок 2 – Электронно-микроскопические снимки ячеистого бетона
а) – контрольный образец; б) – наномодифицированный образец.

Результаты исследования структуры материала с помощью электронной микроскопии согласуются с данными рентгенофазового и дифференциально-термического анализов. Для наномодифицированных образцов ячеистого бетона по сравнению с обычными образцами было выявлено большее содержание низкоосновных гидросиликатов тоберморитовой группы, которые являются основными носителями прочности ячеистого бетона.

Таким образом, увеличение прочностных свойств обеспечивается за счет целенаправленного изменения состава цементирующего вещества в присутствии углеродных нанотрубок, выполняющих функцию центров кристаллизации, что способствует формированию плотной мелкокристаллической структуры межпоровых перегородок. При этом эффект механоактивации известково-песчаного вяжущего при помоле усиливается за счет проникновения нанотрубок вместе с известью в микро- и макродефекты частиц кварца, что позволяет более полно задействовать потенциал углеродных нанотрубок как кристаллической затравки.

На основании проведенных исследований установлено положительное влияние углеродных нанотрубок на процесс формирования структуры продуктов гидросиликатного твердения, что позволяет получить автоклавный ячеистый бетон нового качества.

Литература

1. Родионов Р.Б. Инновационный потенциал нанотехнологий в производстве строительных материалов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, 2006, № 8 – С. 72–75.
2. Соколовский Л.В. Энергосбережение в строительстве. – Минск: Стринко, 2000. – 46 с.
3. Батяновский, Э. И. Особенности технологии высокопрочного бетона на отечественных материалах, включая нанокремниевые добавки / Э. И. Батяновский, В. Д. Якимович // Проблемы

современного бетона и железобетона. Т. 2, Технология бетона. – Минск: Минсктиппроект, 2011. – С. 53–68.

4. Гиритель, Г. Б. Перспективы применения наноструктурированного бетона в строительстве / Г. Б. Гиритель, С. В. Глазкова // Бетон и железобетон. – 2011. – № 6. – С. 40–44.

5. Физические, тепло- и массообменные свойства строительных материалов: справочник / В.В. Шарков [и др.]. – Днепропетровск: ПГАСА, 2009. – 192 с.