

УДК 693.54; 666.972

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ
ДОБАВКОЙ, СОДЕРЖАЩЕЙ КОМБИНАЦИЮ НАНОЧАСТИЦ

Е. Н. ПОЛОНИНА, С. Н. ЛЕОНОВИЧ

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Благодаря применению комбинации методов, получены новые данные о структуре геля гидросиликатов кальция (С-S-H-геля), заполняющего до 70 % и более объема цементного камня. В связи с этим авторами предложено совершенствование методов направленного и контролируемого регулирования структуры С-S-H-геля путем варьирования доз, размеров, физико-химических характеристик поверхности, используемых наночастиц.

При разработке бетонов с улучшенными механическими свойствами в последнее время находят применение модифицирующие добавки углеродных нанодисперсных систем. Известно, что введение углеродных наносистем в состав минеральных вяжущих матриц приводит к их структурированию с формированием кристаллогидратных новообразований повышенной плотности и прочности. При этом актуальными остаются вопросы, касающиеся дозировки, размеров и характеристик поверхности применяемых наночастиц, а также снижения себестоимости технологии наномодифицирования бетонов.

Авторами разработана добавка с взаимоусиливающей комбинацией наночастиц гидротермального нанокремнезема (SiO_2) [1] и углеродных нанотрубок (МУНТ) [2] в диапазоне малых доз, которая для снижения водопотребности бетонной смеси и стабилизации наночастиц дополнительно содержит и суперпластификатор [3]. Выявлено, что при введении в состав наночастиц МУНТ и SiO_2 в диапазоне 0,00003 %...0,0009 % и 0,000001 %...0,000008 % от массы цемента, соответственно, и суперпластификатора в количестве 0,32 %...0,5 % от массы цемента, повышаются механические и физические характеристики: прочность бетона при сжатии – в раннем возрасте – более 90 %, в возрасте 28 сут – до 77 % (по сравнению с бетоном без добавок) и до 57 % по сравнению с бетоном, содержащим равное количество применяемого в добавке пластификатора; повышаются коэффициенты интенсивности напряжений при нормальном отрыве и поперечном сдвиге; увеличиваются марки бетона по водонепроницаемости до W20 и по морозостойкости – до F500.

Экспериментально подтвержден механизм действия комбинированной нанодобавки на структуру С-S-H-геля по результатам применения комплекса методов: термогравиметрии, рентгенофазового анализа (РФА), инфракрасной

спектроскопии (ИК-спектроскопии), упругих ультразвуковых волн, наноиндентирования на образцах цементного камня. Установлено влияние малых доз гидротермальных наночастиц SiO_2 и МУНТ как отдельно, так и совместно, на механические характеристики портландцементного композита – прочности на сжатие и изгиб, модуль упругости и модуль сдвига. Приросты прочности на сжатие и изгиб, модуля упругости и сдвига при $V/C = 0,21$ коррелировали друг с другом и достигали максимальных значений для композита, модифицированного комбинацией наночастиц SiO_2 и МУНТ. Данные термогравиметрии, увеличение количества гидратов силикатов кальция и уменьшение объема капиллярных пор не смогли объяснить установленные различия в механических характеристиках. Метод ИК-спектроскопии показал увеличение степени полимеризации кремнекислородного тетраэдра в структуре С-S-H-геля наномодифицированных образцов. Приросты базальных расстояний в слоистой структуре С-S-H-геля были найдены методом РФА. Механическим наноиндентированием определили увеличение средних значений модуля упругости M в фазах С-S-H-геля и выявили тенденцию к переходу LD- и HD-фазы в UHD-фазу. Этот переход был обусловлен повышением упорядоченности структуры С-S-H-геля и увеличением объемной плотности упаковки наногранул С-S-H-геля [4].

Предложенные авторами составы бетона с добавкой, содержащей комбинацию наночастиц в диапазоне малых доз, дали экономическую эффективность за счет повышения класса прочности бетона или за счет снижения стоимости до 34 белорус. р. за 1 м^3 при получении равнопрочного бетона.

Изученные эффекты могут быть использованы для модифицирования тяжелых бетонов, в композитах с замещающими добавками – микрокремнезем, фибробетон, при снижении затрат на модифицирование за счет применения малых доз наночастиц.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Способ извлечения коллоидного кремнезема из гидротермального теплоносителя с получением кремнеземсодержащего материала с пониженной концентрацией примесей : пат. RU 2296103 / В. В. Потапов, В. А. Горбач, А. А. Сердан. – Оpubл. 27.03.2007.
2. Способ получения углеродного наноматериала : пат. ВУ 13680 / И. Ф. Буюков, К. О. Борисевич, С. А. Жданок. – Оpubл. 30.06.2010.
3. Способ модифицирования бетона комплексной добавкой, включающей гидротермальные наночастицы SiO_2 и многослойные углеродные нанотрубки : пат. RU 2750497 / В. В. Потапов, Е. Н. Полонина, С. Н. Леонович, С. А. Жданок. – Оpubл. 28.06.2021.
4. **Полонина, Е. Н.** Конструкционный бетон, модифицированный комплексной добавкой, содержащей гидротермальный нанокремнезем и углеродные нанотрубки: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Е. Н. Полонина; БНТУ. – Минск, 2022. – 25 с.