

Казимагомедов И. Е., Наливайко Т.Т.*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры
(ул. Сумская, 40, Харьков, 61002, Украина; e-mail: nalivaykot@gmail.com;
orcid.org/0000-0002-6770-8455, orcid.org/0000-0002-5069-486X)*

ПОВЫШЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ СТЕКЛОВОЛОКНА В СРЕДЕ ГИДРАТИРУЮЩЕГО ЦЕМЕНТА

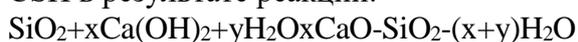
В бетоне стекловолокно всегда будет в контакте с щелочной средой, поэтому долговечность стеклофибробетона ограничена. Использование нанокремнезема, обладающего повышенной химической активностью, позволит предотвратить коррозию стекловолокна. Проведена оценка влияния добавки нанокремнезема на прочностные характеристики стеклофибробетона.

Ключевые слова: стеклофибробетон, структура бетона, поры, прочность, армирование, нанокремнезем.

Для получения фибробетона с высокими эксплуатационными характеристиками и долговечностью необходимо оптимально подобрать состав, достигнуть технологической совместимости фибры и цементной матрицы, обеспечить коррозионную стойкость фибры в среде цементной матрицы и требуемую долговечность получаемого фибробетона.

С целью повышения коррозионной стойкости стекловолокна, используемого в качестве дисперсно-армирующего компонента бетона, авторы данного исследования рекомендуют использование нанокремнезема, обладающего гораздо более развитой удельной поверхностью и почти полностью аморфного состава, что позволит повысить коррозионную стойкость волокна за счет связывания извести с активной формой кремнезема. Совместное использование стеклофибры и нанокремнезема позволит получить фибробетоны, обладающие высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

Весьма мелкий гранулометрический состав и значительная удельная поверхность зерен аморфного кремнезема обуславливают высокие пуццолановые свойства и позитивное влияние микрокремнезема на свойства бетона. Кремнезем легко вступает в реакцию с гидроксидом кальция, высвобождаемой в процессе гидратации цемента, повышая тем самым количество гидратированных силикатов типа CSH в результате реакции:

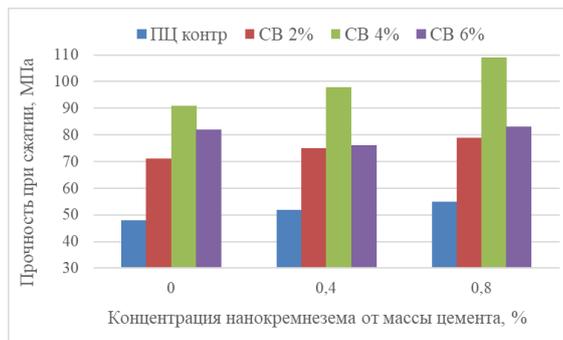


Эта вновь образовавшаяся фаза CSH характеризуется меньшим отношением C/S (даже до 1,4), чем CSH в результате гидратации цемента. Как следствие, она обладает способностью присоединять другие ионы, особенно щелочи, что имеет существенное значение в связи с применением микрокремнезема для уменьшения расширения, вызванного реакциями между щелочами и заполнителем.

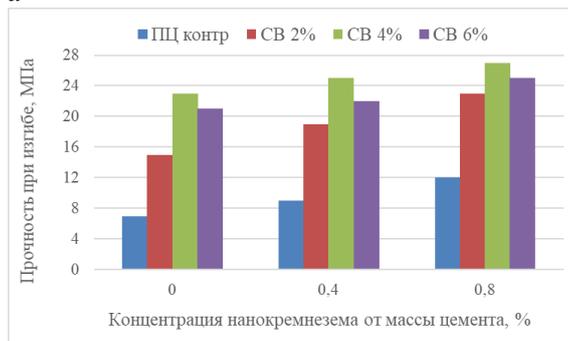
В проводимых исследованиях для получения стеклофибробетона были использованы следующие сырьевые материалы: портландцемент ПЦ-500, соответствующий требованиям ДСТУ Б В.2.7-46-2010, мелкий заполнитель - песок кварцевый, стеклянное волокно типа Е плотностью 2540 кг/м³, диаметром 10 мкм, нанодисперсный кремнезем (НК) Ковелос-05.

Проведены исследования по оптимизации состава бетона со стекловолокном и нанокремнеземом при различном их процентном содержании (рис. 1). При формировании расход воды оставался постоянным, В/Ц-отношение равно 0,45, при этом изменялась пластичность цементного теста в пределах 6- 9мм.

Границы уровней дисперсного армирования, при которых обеспечивается исключение возможности хрупкого разрушения композита для стекловолокна, составляет 2-6 % от массы цемента.



а



б

Рис. 1. Влияние концентрации нанокремнезема (НК) и содержания стекловолокна (СВ) на прочность при сжатии (а) и изгибе (б) цементного камня

Анализ изменения прочности фиброцементных композиций позволяет отметить, что введение СВ приводит к повышению прочности на 20% по сравнению с контрольным составом. Совместное введение СВ и НК приводит к увеличению прочности на 65% при оптимальном содержании СВ - 4%, НК - 0,8%. Улучшение свойств фиброцементных композиций происходит благодаря комплексному воздействию стекловолокна и нанокремнезема, присутствующих в системе.

Анализ тепловыделения цементных паст (рис. 2), определенный калориметрическим методом, показывает, что при введении стеклянного волокна и нанокремнезема происходит увеличение температуры гидратации на 5-7%, при этом наблюдается характерный пик в первые минуты гидратации у модифицированного состава, обусловленный механизмом действия нанокремнезема. Присутствие нанокремнезема изменяет концентрацию ионов Ca^{2+} в жидкой фазе цементной пасты уже в первые минуты гидратации и интенсифицирует процесс гидратации. Известно, что стекловолокно может

характеризоваться адсорбцией воды на поверхности, однако этот процесс достаточно длительный и не оказывает существенного влияния на количество свободной воды в первые часы гидратации. Это заметно в дальнейшем, при протекании индукционного периода (0,5 до 4,5 ч), когда у контрольного состава пик замедления скорости гидратации более выражен, чем у модифицированного состава. Следующий этап гидратации характеризуется более высокой скоростью протекания реакций гидратации у модифицированного состава, при этом максимальная температура гидратации выше на 3-5 град. Одновременное присутствие стекловолокна и нанокремнезема приводит к ускоренному образованию гидросиликатов кальция, что сказывается на увеличении физико-механических характеристик фиброцементных композиций.

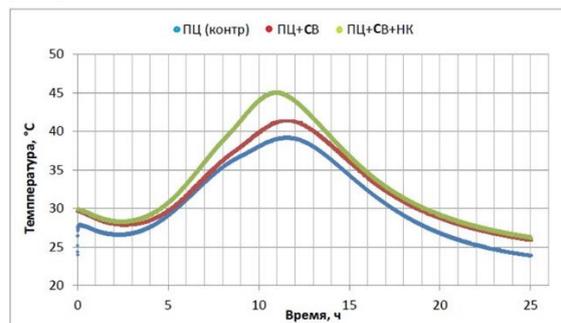


Рис. 2. Тепловыделение цемента: 1 – ПЦ (контрольный), 2 – ПЦ + стекловолокно, 3 - ПЦ + стекловолокно + нанокремнезем

В начальный период гидратации при соприкосновении частиц цемента с водой на контактной поверхности начинают идти реакции растворения безводных минералов клинкера. В результате происходит насыщение воды затворения и контактной зоны ионами Ca^{2+} , OH^- и другими. Быстрое насыщение водного раствора ионами Ca^{2+} происходит за счет гидролиза клинкерного минерала алита C_3S , сопровождающимся выделением $Ca(OH)_2$.

Нанокремнезем активно влияет на гидратацию ПЦ: его присутствие изменяет концентрацию ионов Ca^{2+} и в жидкой фазе цементной пасты уже в первые минуты гидратации. Образование продуктов гидратации в ранний период происходит при участии поверхности нанодисперс-

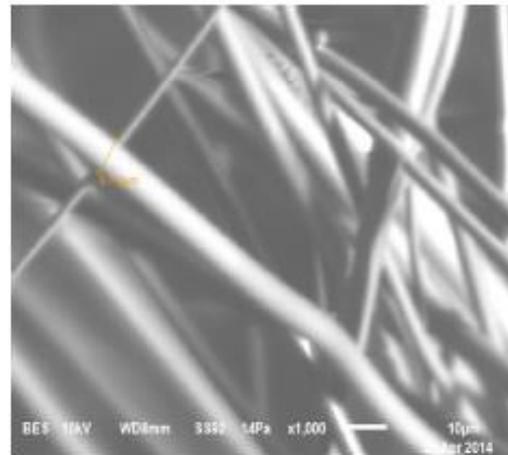
ных частиц, и поверхность цементных зерен оказывается в меньшей степени блокирована

Для оценки щелочестойкости стекловолокна был использован ускоренный способ путем кипячения волокна в насыщенном растворе извести по методике Пашенко А.А. [1]. Образцы исходного стекловолокна кипятили в насыщенном растворе гидроксида кальция ($pH=9,1$) в течение 4 часов. В качестве сравнения стекловолокно кипятили в растворе гидроксида кальция с добавлением нанокремнезема в количестве 0,8% от массы цемента. На рис. 3 приведены снимки образцов стекловолокна до и после кипячения, выполненные на растровом электронном микроскопе (РЭМ) при увеличении $\times 1000$.

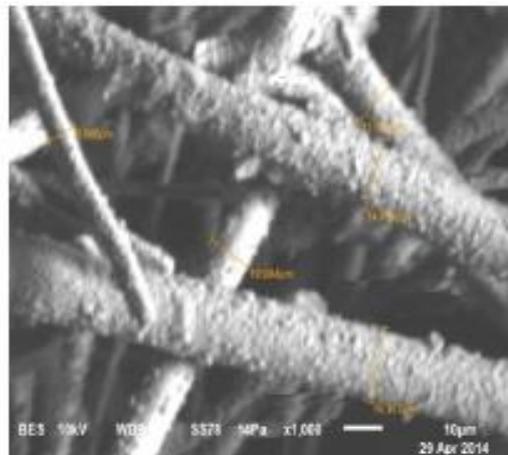
Исходное стекловолокно до кипячения характеризуется ровной и гладкой поверхностью (рис. 3, а), после кипячения видны следы взаимодействия извести с волокном, вызывающее появление дефектов и новообразований на поверхности (рис. 2, б). Поверхность волокна, прокипяченного с добавлением в раствор нанокремнезема, осталась гладкой и ровной с незначительными вкраплениями новообразований, продуктов взаимодействия нанокремнезема с известью (рис. 3, в).

Анализируя прочностные показатели составов с исходным волокном и после кипячения с добавлением нанокремнезема, следует отметить, что эффект увеличения прочности составил 52-65% по сравнению с контрольным: прочность при сжатии цементного камня с 45...55 МПа увеличилась до 91...108 МПа, прочность при изгибе с 7...10 МПа до 19...27 МПа.

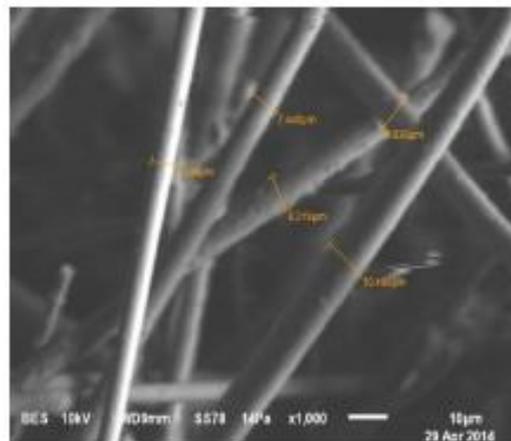
Таким образом, исследования показали, что нанокремнезем, обладая развитой удельной поверхностью и повышенной химической активностью, взаимодействует с образующейся при гидратации цемента известью, предотвращая коррозию стекловолокна. Это сказывается на увеличении прочности цементного камня и усилении армирующего эффекта стеклянной фибры.



а



б



в

Рис. 3. Растровые электронные микрофотографии поверхности стекловолокна: а – исходное, б – после кипячения в растворе извести, в – измельченное с цементом после кипячения с добавлением нанокремнезема.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Пашенко А.А. Армирование неорганических вяжущих веществ минеральными волокнами. Наука – строительному производству. М.: Стройиздат. 1988. 382 с.

2. Моргун Л.В. Структурообразование и свойства фибропенобетонов неавтоклавного твердения: автореф. дис. на соиск. уч. степени доктора. техн. наук: спец. 05.23.05 «Строительные материалы и изделия». Ростов-на-Дону, 2005. 48 с.
3. Баженов Ю.М., Алимов Л.А., Воронин В.В. Технология бетона, строительных изделий и конструкций. М.: Изд-во АСВ, 2004. 353 с.
4. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции. М.: Изд-во АСВ, 2004. 560 с.
5. Рабинович Ф.Н., Зуева В.Н., Макеева Л.В. Устойчивость базальтовых волокон в среде гидратирующихся цементов. *Стекло и керамика*. 2001. № 12. С. 29-32.
6. Рабинович Ф. М. Дисперсноармированные бетоны. М.: Стройиздат, 1989. 175 с.
7. Войлоков И.А., Канаев С.Ф. Базальтофибробетон. Исторический экскурс. *Инженерно-строительный журнал*. 2009. №4. С. 26-31.
8. Пухаренко Ю.В. Научные и практические основы формирования структуры и свойств фибробетона: автореф. дис. на соиск. уч. степени д-р техн. наук: 05.23.05 «Строительные материалы и изделия». СПб, 2004. 22 с.
9. Пухаренко Ю.В. Реставрация и строительство: потенциал фиброармированных материалов и изделий. *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 4. С. 5-8.
10. Волков И.В. Проблемы применения фибробетона в отечественном строительстве. *Строительные материалы*. 2006. №6. С.12-13.
11. Волков И.В. Фибробетон: состояние и перспективы применения в отечественных конструкциях. *Строительные материалы, технология и оборудование XXI века*. 2004. №5. С.5-7.
12. Алиев К.У. Растянутые элементы из керамзитофиброжелезобетона на грубом

базальтовом волокне с обычной и высокопрочной арматуры: диссер. на соискание ученой степени канд. техн. наук. Нальчик, 2004. 160 с.

13. Першина Л.О., Макаренко О.В. Аналіз і критерії вибору черепиці для покрівель. *Науковий вісник будівництва*. 2016. Т.84. №2. С.263-269.
14. Казимагомедов И.Э., Шептун С.Ю., Гиль Ю.Б. Повышение стойкости наливных полов к истиранию. *Науковий вісник будівництва*. 2015. №3. С. 69-73.

Казимагомедов І.Є., Наливайко Т.Т. ПІДВИЩЕННЯ КОРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ СКЛОВОЛОКНА В СЕРЕДОВИЩІ ГІДРАТУЮЧОГО ЦЕМЕНТУ. У бетоні скловолокно завжди є в контактi з лужним середовищем, тому довговічність стеклофіробетона обмежена. Використання нанокремнезому, що володіє підвищеною хімічною активністю, дозволить запобігти корозії скловолокна. Проведено оцінку впливу додавання нанокремнезому на характеристики міцності фібробетону.

Ключові слова: склофіробетон, структура бетону, пори, міцність, армування, нанокремнезєм.

Kazimagomedov I.E., Nalyvayko T.T. IMPROVING THE CORROSION RESISTANCE OF FIBERGLASS IN THE ENVIRONMENT OF HYDRATING CEMENT. In concrete, fiberglass will always be in contact with an alkaline medium, so the durability of glass fiber concrete is limited. The use of nanosilica, which has increased chemical activity, will prevent the corrosion of fiberglass. The influence of the addition of nanosilica on the strength characteristics of fiber-reinforced concrete was evaluated.

Key words: concrete, concrete structure, pores, strength, reinforcement, nanosilica.