DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-2-19-28

Володченко А.А. *, кандидат технических наук, доцент,
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия
*Ответственный автор E-mail: alex-0904@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ ГИДРОСИЛИКАТОВ КАЛЬЦИЯ НА ПРОЦЕССЫ ТВЕРДЕНИЯ И СВОЙСТВА НЕАВТОКЛАВНЫХ СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НЕТРАДИЦИОННОГО АЛЮМОСИЛИКАТНОГО СЫРЬЯ

Аннотация: одним из возможных путей улучшения свойств строительных материалов является модифицирование процессов структурообразования, что может быть реализовано за счет применения кристаллических затравок. В связи с этим актуальным является вопрос исследования влияния искусственных гидросиликатов кальция на процессы твердения, а также свойства силикатных материалов неавтоклавного твердения на основе нетрадиционного алюмосиликатного сырья. Проведенными исследованиями установлено, что добавка искусственных гидросиликатов кальция (CSH) в количестве 1-1,5 мас. %, при содержании в смеси CaO менее 10 мас. %, эффективно повышает прочностные показатели изделий на всех этапах тепловлажностной обработки от 8 до 16%. Наиболее интенсивный прирост прочности отмечается в процессе тепловлажностной обработки (ТВО) в период с 3 до 6 часов и составляет не менее 13%, в то время как у образцов без добавки искусственных гидросиликатов кальция прирост прочности составил 6%. Добавка искусственных гидросиликатов кальция интенсифицирует процессы структурообразования, что обеспечивает увеличение кристаллического вещества, а за счет волокнистого строения выступает в качестве фиброволокна, что способствует наноармированию формирующегося цементирующего вещества из новообразований в системе $\text{CaO-SiO}_2(\text{Al}_2\text{O}_3)\text{-H}_2\text{O}$ на основе используемых глинистых пород и оксида кальция. За счет ускоренного набора прочности возможно сокращение длительности изотермической выдержки при сохранении необходимых эксплуатационных характеристик.

Ключевые слова: неавтоклавные силикатные материалы, искусственные гидросиликаты кальция, стеновые материалы, нетрадиционное сырье, песчано-глинистые породы, алюмосиликатное сырье

Введение

В настоящее время многими учеными проводятся исследования в области разработки строительных композитов будущего, в том числе с использованием природоподобных технологий, а также различные способы повышения их эксплуатационных характеристик [1-5].

За последние годы возрос интерес к модифицированию структуры [6-7] композитов гидратационного твердения за счет контролируемо пространственного распределения новообразований и (или) наноармирования за счет использования различных наноструктурированных слоистых систем. Так, например, в работах [8-9] приводятся данные по улучшению прочностных характеристик материалов на основе портландцемента путем создания определенной связной пространственной структуры в системе $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ за счет введения в сырьевую смесь графитовых структур, с последующим их взаимодействием с формируемыми новообразованиями. Другие подобные методы заключаются в использовании наночастиц глинистых минералов [10]. Так в работах [11, 12] приводятся результаты о применении глинистых минералов как центров кристаллизации, и дальнейшего модифицирования системы $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$.

Создание упорядоченных структур в строительных композитах гидратационного твердения может существенно увеличить показатели изделий. В работе [13] учеными получены высокоупорядоченные мезокристаллы гидросиликатов кальция, обладающие прочностью на изгиб около 162 МПа. Подобный подход может существенно увеличить показатели изделий на наноуровне.

Другое направление модификации кристаллической системы $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ в строительных композитах, является весьма простым с точки зрения применения – использование специально синтезированного модификатора, состоящего из моноводных кристаллических образований [14-17]. Использование подобного модификатора позволит создавать центры кристаллизации и выполняющие роль подложки для дальнейшего роста необходимых кристаллических структур, что может повысить прочностные свойства изделий.

В связи с этим актуальным является вопрос исследования влияния искусственных гидросиликатов кальция на процессы твердения, а также свойства силикатных материалов неавтоклавного твердения на основе нетрадиционного алюмосиликатного сырья.

Методы и материалы

В качестве алюмосиликатного сырья для получения силикатных материалов неавтоклавного твердения используются нетрадиционные глинистые породы незавершенной стадии минералообразования и характеризующиеся определенным набором свойств [18], а в качестве вяжущего вещества выступает оксид кальция (строительная негашеная известь). В данной работе в качестве нетрадиционного алюмосиликатного сырья использовалась песчано-глинистая порода региона Курской магнитной аномалии, по числу пластичности относящаяся к супеси.

Искусственные гидросиликаты кальция, в данных исследованиях, получали путем гидротермального синтеза при повышенных температурах и давлении ($P=1$ МПа, $T=175$ °С). В качестве исходных компонентов использовался оксид кальция и кварцевый песок Вольского месторождения. Для повышения химической активности кварцевого песка он был предварительно измельчен ($S_{уд}= 300$ м²/кг). С целью получения низкоосновных гидросиликатов кальция, как наиболее устойчивых и благоприятно влияющих на свойства готовых изделий исходное соотношение $CaO:SiO_2$ было равным 1.

Полученные гидросиликаты кальция вводились в сырьевую смесь путем перемешивания в сухом виде с вяжущим компонентом и глинистой породой в лабораторном смесителе. После добавления необходимого количества воды с последующим выдерживанием смеси для полного гашения оксида кальция в смеси, производили формовку образцов на гидравлическом прессе при давлении прессования 20 МПа. Процесс твердения образцов осуществлялся в камере тепловлажностной обработки (ТВО), при температуре водяного пара 95 °С. Время изотермической выдержки образцов составило – 3, 6 и 9 часов соответственно.

Исследование фазового состава, микроструктуры исходных компонентов и формирующихся новообразований производили соответствующими методами исследований (РФА, ДТА, РЭМ).

Результаты и обсуждения

Задачей проведенных исследования явилось исследование влияния искусственных гидросиликатов кальция на кинетику структурообразования в системе «известь-нетрадиционное алюмосиликатное сырье», морфологию новообразований, микроструктуру, а также свойства неавтоклавных силикатных материалов. Кинетика структурообразования оценивалась по нарастанию прочности на сжатие образцов при различном времени изотермической выдержки.

В ходе проведения исследований гидросиликаты кальция были получены в достаточно однородном виде. По данным РФА ($d=5,34, 2,827, 2,885, 2,940, 3,07, 2,1, 2,24$ Å) и ДТА (экзоэффект при 863 °С) отмечается присутствие преимущественно низкоосновных гидросиликатов кальция (рис. 1).

Рис. 1. Рентгенограмма (а) и термограмма (б) полученных гидросиликатов кальция
Fig. 1. Radiograph (a) and thermogram (b) of the obtained calcium hydrosilicates

Наличие рефлекса на РФА в районе 11 Å может свидетельствовать о присутствии тоберморита. Полученный продукт представляет собой тонкокристаллические волокна с диаметром в нанометровом диапазоне (рис. 2).

Рис. 2. Микроструктура синтезированных гидросиликатов кальция
Fig. 2. The microstructure of synthesized calcium hydrosilicates

С целью определения влияния полученных гидросиликатов кальция на свойства образцов при разном времени изотермической выдержки были определены составы сырьевых смесей с содержанием СаО в количестве 6 и 10 мас. %. Полученные гидросиликаты кальция вводились в сырьевую смесь в количестве 1 и 3 мас. %. Формовочная влажность сырьевой смеси составила 10 мас. %. При расчете количества воды затворения дополнительно определялось количество воды, необходимое для полного гашения СаО.

После твердения в камере ТВО свойства полученных изделий (значение показателя предела прочности на сжатие, показатель средней плотности образцов, массовое водопоглощение, а также показатель водостойкости) определяли в соответствии с требованиями нормативных документов. Результаты испытаний представлены на рис. 3 и в табл. 1.

Установлено, что добавка искусственных гидросиликатов кальция в количестве 1-1,5 мас. %, при содержании СаО – 6 мас. % и изотермической выдержке в течение 3 часов (рис. 3, а, кривая 1), увеличивает значение показателя предела прочности на сжатие с 16 до 18 МПа. Значение показателя прочности образцов, подвергнутых тепловой обработке при постоянной температуре в течение 6 и 9 часов, увеличивается с 17 до 21 МПа и с 18 до 21,3 МПа соответственно (рис. 3, а, кривые 2,3).

Рис. 3. Кинетика набора прочности образцов с содержанием СаО – 6 мас. % (а) и 10 мас. % (б) в зависимости от времени изотермической выдержки и содержания искусственных гидросиликатов кальция: 1 – изотермическая выдержка 3 часа; 2 – изотермическая выдержка 6 часов; 3 – изотермическая выдержка 9 часов

Fig. 3. The kinetics of the strength set of samples with a CaO content of 6 wt. % (a) and 10 wt. % (b) depending on the time of isothermal exposure and the content of artificial calcium hydrosilicates:

1 – isothermal exposure 3 hours; 2 – isothermal exposure for 6 hours; 3 – isothermal exposure for 9 hours

При увеличении содержания искусственных гидросиликатов кальция до 2 мас. % прочность практически не изменяется, а при дальнейшем увеличении до 3% приводит к снижению прочностных показателей изделий (рис. 3, а). Стоит отметить, что это снижение незначительно и составляет 2-3% при любом времени изотермической выдержки.

Увеличение содержания в смеси доли СаО до 10 мас. % изменяет характер влияния искусственных гидросиликатов кальция на прочностные показатели изделий (рис. 3, б), по отношению к образцам, с меньшим содержанием СаО. Наивысшего значения прочности, в этом случае, образцы достигают при содержании в смеси искусственных гидросиликатов кальция в количестве 1 мас. %. Так, для образцов, подвергнутых 3 часовой обработке при температуре 95 °С значение прочности на сжатие изменяется с 18,1 до 19,2 МПа, а для 6 и 9 часовой обработки данный показатель повышается с 18,8 до 20,5 МПа и с 20 до 21 МПа соответственно (рис. 3, б). Добавка искусственных гидросиликатов кальция в смеси содержащей 10 мас. % СаО, в количестве свыше 1 мас. % приводит к снижению предела прочности при сжатии на 8 – 10 % (рис. 3, б), что по сравнению с образцами содержащих СаО – 6 мас. % несколько больше. Особенно это заметно на образцах после 9-ти часовой тепловой обработки при температуре 95 °С (рис. 3, б, кривая 3).

Кинетику процессов структурообразования оценивали по нарастанию прочности при различном времени изотермической выдержки. Установлено, что добавка искусственных гидросиликатов кальция оказывает положительное влияние на процессы твердения. Так, с увеличением времени изотермической выдержки с 3 до 9 часов (рис. 3, а) прирост прочности образцов содержащих 1 мас. % искусственных гидросиликатов

кальция и 6 мас. % CaO составляет 15%, при этом наиболее интенсивный прирост прочности наблюдается с 3 до 6 часов и составляет 13 %, а в период с 6 до 9 часов – 3%. Динамика набора прочности образцов без содержания искусственных гидросиликатов кальция меньше (рис. 3, а), и составляет для периода изотермической выдержки с 3 до 6 часов – 6 %, а в период с 6 до 9 часов – 3%.

При содержании в смеси доли CaO 10 мас. % добавка искусственных гидросиликатов кальция (1 мас. %) так же способствует интенсификации набора прочности на всех этапах изотермической выдержки (рис. 3, б).

Средняя плотность зависит от нескольких факторов – содержания CaO, искусственных гидросиликатов кальция и времени изотермической выдержки (табл. 1). С увеличением доли CaO в смеси с 6 до 10 мас. % средняя плотность понижается с 1960 до 1890 кг/м³.

Таблица 1

Свойства неавтоклавных силикатных материалов в зависимости от состава сырьевой смеси и времени изотермической выдержки

Table 1

Properties of non-autoclave silicate materials depending on the raw material mixture composition and isothermal exposure time

Физико-механические характеристики	Содержание искусственных гидросиликатов кальция, мас. %		
	0	1	3
Массовое содержание негашеной извести в сырьевой смеси – 6 %			
Продолжительность изотермического прогрева – 3 ч			
Предел прочности материала на сжатие, МПа	16,51	18,14	17,62
Средняя плотность материала, кг/м ³	1920	1920	1900
Водостойкость (коэффициент размягчения)	0,45	0,5	0,54
Продолжительность изотермического прогрева – 6 ч			
Предел прочности материала на сжатие, МПа	17,51	20,72	20,12
Средняя плотность материала, кг/м ³	1940	1926	1910
Водостойкость (коэффициент размягчения)	0,55	0,6	0,66
Продолжительность изотермического прогрева – 9 ч			
Предел прочности материала на сжатие, МПа	18,1	21,31	20,81
Средняя плотность материала, кг/м ³	1960	1950	1920
Водостойкость (коэффициент размягчения)	0,65	0,78	0,8
Массовое содержание негашеной извести в сырьевой смеси – 10 %			
Продолжительность изотермического прогрева – 3 ч			
Предел прочности материала на сжатие, МПа	18,11	19,21	18,51
Средняя плотность материала, кг/м ³	1880	1864	1832
Водостойкость (коэффициент размягчения)	0,58	0,61	0,61
Продолжительность изотермического прогрева – 6 ч			
Предел прочности материала на сжатие, МПа	18,81	20,51	19
Средняя плотность материала, кг/м ³	1900	1860	1820
Водостойкость (коэффициент размягчения)	0,65	0,67	0,67
Продолжительность изотермического прогрева – 9 ч			
Предел прочности материала на сжатие, МПа	20	21	19,2
Средняя плотность материала, кг/м ³	1920	1890	1850
Водостойкость (коэффициент размягчения)	0,71	0,75	0,73

Введение в сырьевую смесь искусственных гидросиликатов кальция до 3 мас. % на всех этапах изотермической выдержки снижает среднюю плотность образцов на 2-5%. С увеличением длительности изотермической выдержки средняя плотность возрастает для всех составов на 1,5-3%. Вероятно это связано с образованием и увеличением кристаллической фазы в образце в процессе тепловлажностной обработки, что способствует уплотнению микроструктуры.

Показатель коэффициента размягчения образцов с добавкой искусственных гидросиликатов кальция, в зависимости от состава, выше на 7-19%, чем у образцов без их добавки (табл. 1), в том числе на всех этапах тепловлажностной обработки. Это достигается за счет введения в сырьевую смесь кристаллического

наполнителя, представленного искусственными гидросиликатами кальция, что способствует увеличению кристаллической массы на более ранних стадиях твердения, и как следствие, синтезу цементирующих соединений обладающих водостойкостью.

Результаты растрово-электронной микроскопии образцов с добавкой искусственных гидросиликатов кальция показывают увеличение в общей массе кристаллического вещества по сравнению с образцами без добавки искусственного кристаллического наполнителя (рис. 4).

На первых этапах тепловлажностной обработки в микроструктуре модифицированных образцов наблюдается формирование слабокристаллического каркаса из новообразований, представленного низкоосновными гидросиликатами кальция. Данная структура включает в себя скопления глобул диаметром около 500 нм (образуются на первых этапах тепловлажностной обработки и являются первоначальными центрами кристаллизации), которые связаны между собой гелеобразной массой из новообразований, среди которых расположены волокнистые кристаллы искусственных гидросиликатов кальция (рис. 4, б).

Рис. 4. Влияние искусственных гидросиликатов кальция на микроструктуру образцов (CaO – 10 мас. %) при изотермической выдержки в течение 3 (а, б) и 9 (в, г) часов:

а, в – без добавки; б, г – с добавкой искусственных гидросиликатов кальция (3 мас. %).

Fig. 4. The effect of artificial calcium hydrosilicates on the microstructure of samples (CaO – 10 wt.%) during isothermal exposure for 3 (a, b) and 9 (c, d) hours:

a, b – without additives; b, d – with the addition of artificial calcium hydrosilicates (3 wt.%)

За счет особенностей процессов структурообразования в системе $\text{CaO-SiO}_2(\text{Al}_2\text{O}_3)\text{-H}_2\text{O}$, на основе используемых глинистых пород и оксида кальция, сформированные на первых этапах твердения глобулы перекристаллизуются с образованием объемной пространственной сетки из новообразований в структуре которой находятся кристаллы искусственных гидросиликатов кальция, интенсифицирующие процессы перекристаллизации и выступают как фиброволокно, что способствует армированию формируемого цементирующего вещества на микро и наноуровне (рис. 4, г).

Исходя, из результатов рентгенофазового анализа (рис. 5) можно сделать вывод, что добавка искусственных гидросиликатов кальция способствует интенсификации синтеза более окристаллизованных новообразований в системе $\text{CaO-SiO}_2(\text{Al}_2\text{O}_3)\text{-H}_2\text{O}$ на основе используемых глинистых пород и оксида кальция на всех этапах тепловлажностной обработки по сравнению с образцами без добавок, что предопределяет повышение свойств образцов.

Рис. 5. Рентгенограммы образцов с содержанием CaO – 10 мас. %
после 3 часов тепловлажностной обработки:

а – контрольный состав; б – содержание искусственных гидросиликатов кальция 3 – мас. %

Fig. 5. Radiographs of samples with a CaO content of 10 wt. % after 3 hours of heat and moisture treatment:
a – control composition; b – the content of artificial calcium hydrosilicates 3 – wt. %

Так, на рентгенограмме образца (рис. 5, б) после трех часов тепловлажностной обработки и содержащего 3 мас % искусственных гидросиликатов кальция, по сравнению с контрольным образцом (рис. 5, а), отмечается присутствие рефлексов 3.945, 3.581, 2.68, 2.20, 2.15, 2.02, 2.09 Å, что, вероятно, свидетельствует о присутствии двухосновных гидросиликатов кальция $\text{C}_2\text{SH}(\text{A})$. Также увеличение интенсивности рефлексов 5.296, 3.04, 2.15 Å может свидетельствовать об увеличении числа низкоосновных гидросиликатов кальция, а появление рефлекса 11 Å позволяет предположить наличие тоберморитоподобных новообразований.

Выводы

Установлено, что добавка искусственных гидросиликатов кальция (CSH) в количестве 1-1,5 мас. %, при содержании в смеси CaO менее 10 мас. %, эффективно повышает прочностные показатели изделий на всех этапах тепловлажностной обработки от 8 до 16%, а также ускоряет процессы твердения. Так, наиболее интенсивный прирост прочности отмечается в процессе тепловлажностной обработки (ТВО) в период с 3 до 6 часов и составляет не менее 13%, в то время как у образцов без добавки искусственных гидросиликатов кальция прирост прочности составил 6 %. Прирост прочности для всех составов в период с 6 до 9 часов ТВО одинаков и составляет 3%.

За счет ускоренного набора прочности возможно сокращение длительности изотермической выдержки при сохранении необходимых эксплуатационных характеристик, что будет способствовать снижению энергозатрат при неавтоклавном синтезе.

Сравнение микроструктуры образцов на различных этапах тепловлажностной обработки показывает, что добавка искусственных гидросиликатов кальция интенсифицирует процессы структурообразования, что обеспечивает увеличение кристаллического вещества, а за счет волокнистого строения выступает в качестве фиброволокна, что способствует наноармированию формирующегося цементирующего вещества из

новообразований в системе $\text{CaO-SiO}_2(\text{Al}_2\text{O}_3)\text{-H}_2\text{O}$ на основе используемых глинистых пород и оксида кальция.

Таким образом, полученные результаты эксперимента показывают, что использование искусственных гидросиликатов кальция в технологии неавтоклавных силикатных материалов на основе нетрадиционного алюмосиликатного сырья оказывает положительное влияние на кинетику структурообразования, и как следствие, на свойства готовых изделий.

Благодарность

Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда (проект №19-79-00185)

Литература

1. Лесовик В.С., Фомина Е.В. Новая парадигма проектирования строительных композитов для защиты среды обитания человека // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. № 10. С. 1241 – 1257.
2. Володченко А.Н., Строкова В.В. Разработка научных основ производства силикатных автоклавных материалов с использованием глинистого сырья // Строительные материалы. 2018. № 9. С. 25 – 31.
3. Fomina E.V., Lesovik V.S., Kozhukhova N.I., Chulenyov A.S. Role of solutions when metasomatic transformations in construction composites // Materials Science Forum. 2019. Vol. 974. P. 168 – 174.
4. Lesovik V.S., Leshchev S.I., Ageeva M.S., Alfimova N.I. Zeolite-containing terra-silicea as a component of composite binders // Materials Science Forum. 2019. Vol. 974. P. 136 – 141.
5. Володченко А.А. Влияние условий эксплуатации на свойства неавтоклавных силикатных материалов на основе нетрадиционного сырья // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №12. С. 12 – 20.
6. Beaudoin J.J., Drame H., Raki L., Alizadeh R. Formation and properties of C–S–H – HDTMA nano-hybrids // J Mater Res. 2008. Vol 23(10). P. 2804 – 2815.
7. Beaudoin J.J., Drame H., Raki L., Alizadeh R. Formation and properties of C–S–H– PEG nano-structures // Materials and Structures. 2009. Vol. 42 (7). P. 1003 – 1014.
8. Sanchez F., Zhang L. Molecular dynamics modeling of the interface between surface functionalized graphitic structures and calcium–silicate–hydrate: interaction energies, structure, and dynamics // Journal of Colloid and Interface Science. 2008. Vol. 323 (2). P. 349 – 358.
9. Sanchez F., Zhang L. Interaction energies, structure, and dynamics at functionalized graphitic structure-liquid phase interfaces in an aqueous calcium sulfate solution by molecular dynamics simulation // Carbon. 2010. Vol. 48 (4). P. 1210 – 1223.
10. Chang T.-P., Shih J.-Y., Yang K.-M., Hsiao T.-C. Material properties of Portland cement paste with nanomontmorillonite // Journal of Materials Science. 2007. Vol. 42(17). P. 7478 – 7487.
11. Lindgreen H., Geiker M., Krøyer H., Springer N., Skibsted J. Microstructure engineering of Portland cement pastes and mortars through addition of ultrafine layer silicates // Cement and Concrete Composites. 2008. Vol. 30 (8). P. 686 – 699.
12. Kroyer H., Lindgreen H., Jacobsen H.J., Skibsted J. Hydration of Portland cement in the presence of clay minerals studied by ^{29}Si and ^{27}Al MAS NMR spectroscopy // Advances in Cement Research. 2003. Vol. 15. P. 103 – 112.
13. Andreas Picker, Luc Nicoleau, Zaklina Burghard, Joachim Bill, Igor Zlotnikov, Christophe Labbez, André Nonat, Helmut Cölfen. Mesocrystalline calcium silicate hydrate: A bioinspired route toward elastic concrete materials // Science Advances. 2017. Vol. 3 (11). e1701216.
14. Людвиг Х.-М., Дрессель Д. Синтетические гидраты силиката кальция в сборных железобетонных конструкциях // СРП Международное бетонное производство. 2011. № 5. С. 42 – 46.
15. Овчаренко Г.И., Ибе Е.Е., Садрашева А.О., Викторов А.В. Контактная прочность цементной фазы C–S–H с добавками // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2018. № 8 (716). С. 48 – 57.
16. Кривобородов Ю.Р., Еленова А.А. Применение микродисперсных добавок для ускорения твердения цемента // Строительные материалы. 2016. № 9. С. 65 – 67.
17. Калашников В.И., Ерофеев В.Т., Мороз М.Н., Троянов И.Ю., Володин В.М., Суздальцев О.В. Нано-гидросиликатные технологии в производстве бетонов // Строительные материалы. 2014. № 5. С. 88 – 91.
18. Володченко А.А., Загороднюк Л.Х., Прасолова Е.О., Чхин Сован. Нетрадиционное глинистое сырье как компонент неорганических дисперсных систем // Вестник МГСУ. 2014. № 9. С. 67 – 75.

References

1. Lesovik V.S., Fomina E.V. Novaja paradigma proektirovaniya stroitel'nyh kompozitov dlja zashhity sredy obitaniya cheloveka. Vestnik MGSU. 2019. 14 (10). P. 1241 – 1257. (rus.)
2. Volodchenko A.N., Strokova V.V. Razrabotka nauchnyh osnov proizvodstva silikatnyh avtoklavnyh materialov s ispol'zovaniem glinistogo syr'ja. Stroitel'nye materialy. 2018. 9. P. 25 – 31. (rus.)
3. Fomina E.V., Lesovik V.S., Kozhukhova N.I., Chulenyov A.S. Role of solutions when metasomatic transformations in construction composites. Materials Science Forum. 2019. 974. P. 168 – 174. (rus.)
4. Lesovik V.S., Leshchev S.I., Ageeva M.S., Alfimova N.I. Zeolite-containing terra-silicea as a component of composite binders. Materials Science Forum. 2019. 974. P. 136 – 141. (rus.)
5. Volodchenko A.A. Vlijanie uslovij jekspluatacii na svojstva neavtoklavnyh silikatnyh materialov na osnove netradicionnogo syr'ja. Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova. 2018. 12. P. 12 – 20. (rus.)
6. Beaudoin J.J., Drame H., Raki L., Alizadeh R. Formation and properties of C–S–H – HDTMA nano-hybrids. J Mater Res. 2008. 23 (10). P. 2804 – 2815.
7. Beaudoin J.J., Drame H., Raki L., Alizadeh R. Formation and properties of C–S–H– PEG nano-structures. Materials and Structures. 2009. 42 (7). P. 1003 – 1014.
8. Sanchez F., Zhang L. Molecular dynamics modeling of the interface between surface functionalized graphitic structures and calcium–silicate–hydrate: interaction energies, structure, and dynamics. Journal of Colloid and Interface Science. 2008. 323 (2). P. 349 – 358.
9. Sanchez F., Zhang L. Interaction energies, structure, and dynamics at functionalized graphitic structure-liquid phase interfaces in an aqueous calcium sulfate solution by molecular dynamics simulation. Carbon. 2010. 48 (4). P. 1210 – 1223.
10. Chang T.-P., Shih J.-Y., Yang K.-M., Hsiao T.-C. Material properties of Portland cement paste with nanomontmorillonite. Journal of Materials Science. 2007. 42 (17). P. 7478 – 7487.
11. Lindgreen H., M. Geiker, H. Krøyer, N. Springer, J. Skibsted. Microstructure engineering of Portland cement pastes and mortars through addition of ultrafine layer silicates. Cement and Concrete Composites. 2008. 30 (8). P. 686 – 699.
12. Kroyer H., Lindgreen H., Jacobsen H.J., Skibsted J. Hydration of Portland cement in the presence of clay minerals studied by ^{29}Si and ^{27}Al MAS NMR spectroscopy. Advances in Cement Research. 2003. 15. P. 103 – 112.
13. Andreas Picker, Luc Nicoleau, Zaklina Burghard, Joachim Bill, Igor Zlotnikov, Christophe Labbez, André Nonat, Helmut Cölfen. Mesocrystalline calcium silicate hydrate: A bioinspired route toward elastic concrete materials. Science Advances. 2017. 3 (11). e1701216.
14. Ljudvig H.-M., Dressel' D. Sinteticheskie gidraty silikata kal'cija v sbornyh zhelezobeton-nyh konstrukcijah. SRI Mezhdunarodnoe betonnoe proizvodstvo. 2011. 5. P. 42 – 46. (rus.)
15. Ovcharenko G.I., Ibe E.E., Sadrasheva A.O., Viktorov A.V. Kontaktnaja prochnost' cementnoj fazy S-S-H s dobavkami. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo. 2018. (716). P. 48 – 57. (rus.)
16. Krivoborodov Ju.R., Elenova A.A. Primenenie mikrodispersnyh dobavok dlja uskorenija tverdenija cementsa. Stroitel'nye materialy. 2016. 9. P. 65 – 67. (rus.)
17. Kalashnikov V.I., Erofeev V.T., Moroz M.N., Trojanov I.Ju., Volodin V.M., Suzdal'cev O.V. Nanogidrosilikatnye tehnologii v proizvodstve betonov. Stroitel'nye materialy. 2014. 5. P. 88 – 91. (rus.)
18. Volodchenko A.A., Zagorodnjuk L.H., Prasolova E.O., Chhin Sovan. Netradicionnoe glinistoe syr'e kak komponent neorganicheskikh dispersnyh system. Vestnik MGSU. 2014. 9. P. 67 – 75. (rus.)

**Volodchenko A.A. *, Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Associate Professor,
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Russia**

*Corresponding author E-mail: alex-0904@mail.ru

INFLUENCE OF ARTIFICIAL CALCIUM HYDROSILICATES ON THE HARDENING PROCESSES AND PROPERTIES OF NON-AUTOCLOAVE SILICATE MATERIALS BASED ON UNCONVENTIONAL ALUMINOSILICATE RAW MATERIALS

Abstract: one of the possible ways to improve the properties of building materials is to modify the processes of structure formation, which can be realized through the use of crystalline primers. In this regard, it is urgent to study the effect of artificial calcium hydrosilicates on hardening processes, as well as the properties of non-autoclave silicate materials based on non-traditional aluminosilicate raw materials. Studies have shown that the addition of artificial calcium hydrosilicates (CSH) in an amount of 1-1.5 wt. %, when the content in the mixture of CaO is less than 10 wt. %, effectively increases the strength parameters of products at all stages of heat and moisture treatment from 8 to 16%. The most intense increase in strength is observed during the heat-moisture treatment (TBO) from 3 to 6 hours and is at least 13%, while in samples without the addition of artificial calcium hydrosilicates, the strength increase is 6%. The addition of artificial calcium hydrosilicates intensifies the processes of structure formation, which ensures an increase in crystalline matter, and, due to the fibrous structure, acts as a fiber, which contributes to the nano-reinforcement of the cementing substance formed from neoplasms in the $\text{CaO-SiO}_2(\text{Al}_2\text{O}_3)\text{-H}_2\text{O}$ system based on clay rocks and calcium oxide. Due to the accelerated set of strength, it is possible to reduce the duration of isothermal exposure while maintaining the necessary performance characteristics.

Keywords: non-autoclaved silicate materials, artificial calcium hydrosilicates, wall materials, unconventional raw materials, sand and clay rocks, aluminosilicate raw materials.

Для цитирования: Володченко А.А. Влияние искусственных гидросиликатов кальция на процессы твердения и свойства неавтоклавных силикатных материалов на основе нетрадиционного алюмосиликатного сырья // Строительные материалы и изделия. 2020. Том 3. № 2. С. 19 – 28. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-2-19-28

For citation: Volodchenko A.A. Influence of artificial calcium hydrosilicates on the hardening processes and properties of non-autoclave silicate materials based on unconventional aluminosilicate raw materials. Construction Materials and Products. 2020. 3 (2). P. 19 – 28 DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-2-19-28

Поступила в редакцию 15 декабря 2019 г.
Принята в доработанном виде 12 февраля 2020 г.
Одобрена для публикации 2 апреля 2020 г.

Received: December 15, 2019.
Revised: February 12, 2020.
Accepted: April 2, 2020