

И. Демидова-Буйзинене, д. т. н. И. Пундиене(✉)

Научный институт термоизоляции Вильнюсского технического университета
им. Гедиминаса, г. Вильнюс, Литва

УДК 666.974.2:666.762.1]:666.368

ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА ДЕФЛОКУЛЯНТА НА ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СРЕДНЕЦЕМЕНТНЫХ ЖАРОСТОЙКИХ БЕТОНОВ В ПРОЦЕССЕ СУШКИ И ТЕРМООБРАБОТКИ

Приведены результаты исследования свойств цементной матрицы среднецементного жаростойкого бетона с добавками дефлокулянтов — триполифосфата натрия и поликарбоксилатного эфира. Рассмотрено влияние количества дефлокулянтов и температуры термообработки на изменения состава продуктов гидратации матрицы после твердения при 20 °С и сушки при 60, 80 и 110 °С. Проведен сравнительный анализ изменения физико-механических свойств бетонов и оценена их термостойкость в зависимости от количества и типа дефлокулянта.

Ключевые слова: среднецементный жаростойкий бетон, дефлокулянт, стратлингит C_2ASH_8 , гидратация, сушка, твердение, прочность, структура бетона.

ВВЕДЕНИЕ

Различные дефлокулянты широко используются в производстве жаростойких бетонов с добавкой микрокремнезема [1–4]. Их влияние на реологические свойства бетона, уменьшение водопотребности бетонной смеси достаточно хорошо изучено [5–9]. Установлено, что частицы алуминатного цемента имеют положительный заряд, а различные добавки (например, микрокремнезем) — отрицательный, поэтому в смеси без дефлокулянта при затворении водой частицы притягиваются друг к другу и водопотребность увеличивается. Расстояние между частицами в цементной смеси без добавки дефлокулянта составляет не менее 10 нм, а с добавкой дефлокулянта увеличивается до 200 нм [5].

Исследованиям жаростойких бетонов с применением дефлокулянтов триполифосфата натрия и поликарбоксилатного эфира посвящено немало публикаций [10–12]. Следует отметить, что наилучшие результаты применения дефлокулянтов достигнуты в составах с высококачественным заполнителем, например с муллитом, корундом, силлиманитом, андалузитом. Однако производители бетонов чаще применяют более дешевые заполнители, такие как шамот, в котором содержание

Al_2O_3 колеблется в пределах 30–35 %, поэтому исследования составов с шамотным заполнителем перспективны [13–15]. Известно, что производители бетонов нередко испытывают трудности при подборе оптимальных типа и количества дефлокулянта. В руководстве по применению дефлокулянтов производители указывают достаточно широкий интервал их возможного применения (0,05–0,40 %), однако конкретных рекомендаций, как различные количества дефлокулянта могут влиять на физико-механические свойства бетонов в процессе твердения и после термообработки, не предоставляют. Публикации о возможных последствиях передозировки дефлокулянта в бетонной смеси немногочисленны [3, 6, 16–18]. Известно, что дефлокулянты могут влиять на пористость, плотность и прочность бетона [6, 19]. В предыдущих исследованиях [6, 9, 11] было установлено, что увеличение количества триполифосфата натрия в составе глиноземистого цемента с добавкой микрокремнезема при температуре твердения 20 °С ускоряет процессы гидратации, однако увеличивает усадку бетона после обжига и ухудшает прочностные характеристики. При увеличении в бетоне количества дефлокулянта Castament FS 20 улучшаются реологические свойства смеси, но замедляются процессы гидратации [9, 11, 20]. Влияние триполифосфата натрия на процессы гидратации глиноземистого цемента с добавкой микрокремнезема исследовано ранее [21]. Механизм набора прочности образцов в зависимости от количества дефлокулянта показал,



И. Пундиене

E-mail: ina.pundiene@gmail.com

что применение триполифосфата натрия не ухудшает прочностные характеристики композиции глиноземистого цемента с добавкой цеолита (67 % SiO_2) по сравнению с композициями без дефлокулянта, твердеющими при 38 °С. Однако присутствие стратлингита — продукта реакции между микрокремнеземом и минералами цемента — в композиции с дефлокулянтом не было установлено. Авторы публикации [3] считают также, что условия твердения имеют большое значение для процесса образования стратлингита. При твердении в воде при 20 °С пасты глиноземистого цемента ($\text{В/Ц} = 0,3$) с микрокремнеземом и добавкой триполифосфата натрия стратлингит обнаруживается после 7 сут твердения наравне с $\text{C}_2\text{A}\cdot\text{H}_8$. Использование микрокремнезема в сочетании с триполифосфатом натрия в пастах на основе глиноземистого цемента ($\text{В/Ц} = 0,3$) показало [22], что добавка триполифосфата натрия улучшает реологические свойства раствора и снижает падение прочности образцов в процессе твердения при 38 °С, однако механизм влияния триполифосфата натрия на снижение прочности образцов остается невыясненным. Установлено [21–24], что щелочные ионы имеют большое значение в процессе образования стратлингита.

Как видно из проведенного обзора, механизм набора прочности образцов жаростойкого бетона с добавкой микрокремнезема в зависимости от применяемого типа и количества дефлокулянта изучен недостаточно. Влияние дефлокулянтов различного типа на формирование структуры затвердевшего бетона в процессе сушки, когда происходит интенсивная конверсия кристаллогидратов, также мало изучено. Для этого необходимы исследования влияния каждого отдельного дефлокулянта на процесс гидратации глиноземистого цемента, а также на эксплуатационные свойства бетона. Поэтому цель данной работы — выяснить, как различные количества дефлокулянтов влияют на гидратацию цемента в процессе твердения и сушки и как это отражается на физико-механических свойствах исследованных среднецементных жаростойких бетонов на шамотном заполнителе.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для исследований были использованы следующие материалы: микрокремнезем (МК) марки RW-Fuller (SiO_2 96,1 %), средний размер частиц которого составляет около 150 нм; глиноземистый цемент «Gorkal-70» (Г70) (Al_2O_3 не менее 70 %); шамотный заполнитель (фракции

< 10 мм), полученный из шамотного кирпича ША ($\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 30\%$) путем дробления и рассева на ситах; дефлокулянты — Castament FS 20 (FS), относящийся к группе поликарбоксилатных эфиров, и технический безводный триполифосфат натрия $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ (NT).

Было приготовлено 7 составов цементной матрицы, состоящей из Г70 и МК при соотношении 2,33 : 1,00, в которых менялось только количество дефлокулянта. Соотношение дисперсионной воды и твердого компонента было постоянным (0,27). Такое соотношение подобрано для того, чтобы максимально приблизить условия эксперимента к реальному соотношению воды и цементной матрицы в бетоне. С той же целью размеры образцов для исследований были выбраны такими же, как и у образцов бетона (70 × 70 × 70 мм). Первый состав «0» был изготовлен без добавки дефлокулянта. В составах с добавкой NT или FS их количество в матрице составляло 0,1, 0,2 и 0,3 % от количества твердого компонента; составы обозначены соответственно NT 0,1, NT 0,2, NT 0,3 и FS 0,1, FS 0,2, FS 0,3.

Рентгенофазовый анализ образцов бетона проводили на рентгенодифрактометре ДРОН-7, антикатоде — медный, фильтр — никелевый, анодное напряжение 30 кВ, анодный ток 12 мА. Для расшифровки пиков использовали базу данных ICDD. Количественные изменения минералов в образцах цементной матрицы после твердения в течение 1 сут и сушки в течение 1 сут при 60 и 80 и 110 °С оценивали по высоте пика основного дифракционного максимума исследуемого минерала на рентгенограмме.

Для сравнения характеристик среднецементных бетонов было приготовлено 6 составов бетона, различающихся между собой только типом и количеством дефлокулянта. Состав исследованных бетонов (мас. %): Г70 10, МК 5, дисперсный шамот 20, шамотный заполнитель 65, вода 7,5 (сверх 100 % сухих компонентов). В составах с добавкой NT или FS их количество менялось от 0,1 до 0,3 % (сверх 100 % сухих компонентов). Составы бетона в зависимости от количества и типа дефлокулянта обозначены: NT 0,1, NT 0,2, NT 0,3 и FS 0,1, FS 0,2, FS 0,3.

Структуру образцов исследовали на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) JSM-7600F фирмы JEOL, Япония. Образцы бетона готовили, обрабатывали и определяли их основные физико-механические свойства по ГОСТ 20910 и LST EN 1402, сушили и обжигали в соответствии с инструкцией СН 156–79; скорость прохождения ультразвукового импульса (УЗИ) в образцах определяли с помощью при-

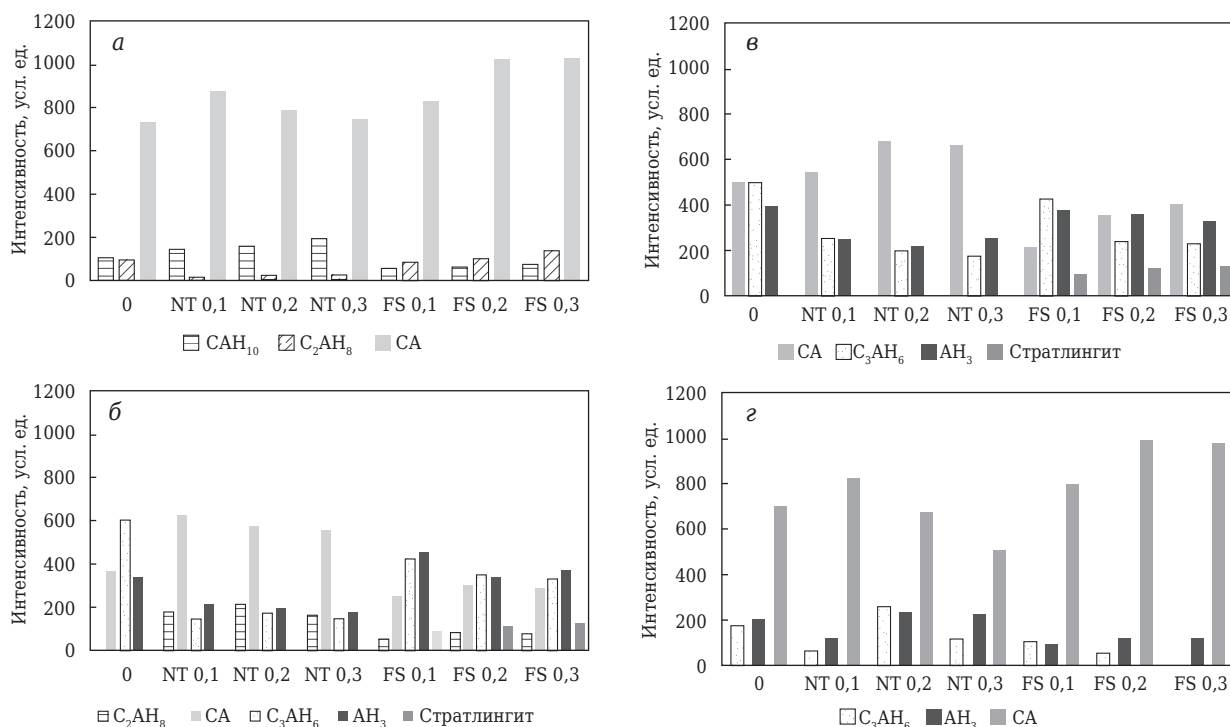


Рис. 1. Зависимость высоты пика основного дифракционного максимума исследуемого минерала в цементной матрице от количества NT и FS после термообработки при 20 (а), 60 (б), 80 (в) и 110 °С (г)

бора «Pundit 7». Предел прочности при сжатии $\sigma_{сж}$ жаростойкого бетона после 3 сут твердения исследовали на гидравлическом прессе ALPHA3-3000 S в соответствии с требованиями LST EN 12390-3:2009, термостойкость определяли по методике, описанной в статье [25]. Термоциклы с нагревом до 800 °С и охлаждением между двумя водоохлаждаемыми металлическими плитами проводили на образцах размерами 40 × 40 × 160 мм. После 1-, 3- и 7-го термоциклов определяли скорость УЗИ и рассчитывали критерии термостойкости.

Результаты рентгенографических исследований образцов цементной матрицы после твердения в течение 1 сут при 20 °С показали (рис. 1, а), что в образце без добавок присутствуют минералы СА (плотность 2,69 г/см³), САН₁₀ (плотность 1,76 г/см³) и С₂АН₈ (плотность 1,95 г/см³). В образцах с добавкой NT наряду с СА присутствуют САН₁₀ и очень незначительное количество С₂АН₈. Увеличение количества NT в образцах ведет к повышению содержания САН₁₀ и уменьшению количества СА. Это, возможно, связано как со свойствами самого дефлокулянта (щелочная реакция в водной среде), так и с тем, что с большим количеством дефлокулянта процесс перегруппировки молекул воды между зернами цемента и МК идет интенсивнее и образуются более толстые прослойки воды [26–28]; гидратация протекает интенсивней. В образцах с FS присутствуют

СА, САН₁₀ и С₂АН₈, а также аморфная фаза. При увеличении количества FS в образцах непрореагировавшего СА остается больше, что можно объяснить тормозящим гидратацию действием дефлокулянта, имеющего кислотную реакцию в водной среде. Однако С₂АН₈ в образцах образуется больше, чем САН₁₀. С увеличением количества FS эта тенденция еще более выражена.

После термообработки при 60 °С в образцах всех составов минерал САН₁₀ не идентифицирован (рис. 1, б, рис. 2); наблюдаются снижение количества СА и образование минералов С₃АН₆ (плотность 2,53 г/см³) и АН₃ (плотность 2,34–2,39 г/см³). В образцах с NT наряду с вышеупомянутыми минералами наблюдается интенсивная кристаллизация С₂АН₈. В образцах с FS С₃АН₆ и АН₃ образуются интенсивнее, чем в образцах с NT; появляется также продукт взаимодействия минералов цемента и МК — стратлингит С₂ASH₈, наличие которого при твердении выше 40 °С подтверждается ранее проведенными исследованиями [22, 29, 30]. Следует отметить, что в образцах с FS уменьшение количества С₂АН₈ наряду с кристаллизацией стратлингита наблюдается не случайно; об этом свидетельствуют данные [29]. То, что в процессе твердения в образцах с FS доминирует С₂АН₈, является основной предпосылкой образования стратлингита. Общее количество продуктов гидратации в образцах с FS заметно выше, чем в образцах с NT. Это можно объяс-

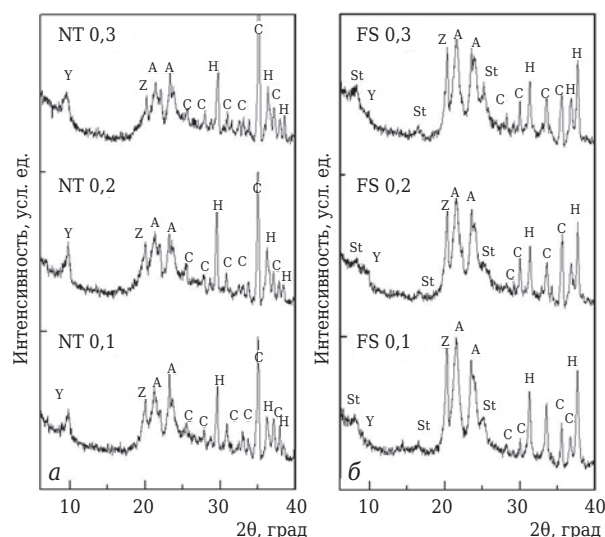


Рис. 2. Рентгенограммы образцов матрицы с различным количеством дефлокулянтов NT (а) и FS (б) после термообработки при 60 °С: С — CA ; Н — CA_2 ; Y — C_2AH_8 ; А — AH_3 ; Z — C_3AH_6 ; St — стратлингит C_2ASH_8

нить тем, что количество непрореагировавшего CA в образцах с FS заметно меньше, чем в образцах с NT. Можно заключить, что при данной температуре FS заметно ускоряет процессы как гидратации, так и конверсии.

После термообработки при 80 °С в образцах всех составов минерал C_2AH_8 не идентифицирован (рис. 1, в); наблюдаются изменения в количественных соотношениях между CA , C_3AH_6 и AH_3 , обусловленные процессами дегидратации и конверсии кристаллогидратов. Эти процессы отражаются на количественных соотношениях между CA и кристаллогидратами. В образцах с FS это соотношение составляет приблизительно 1 : 2, в образцах с NT 3 : 2, т. е. они более плотные. В образцах с FS присутствует стратлингит, количество непрореагировавшего CA в образцах с FS все еще заметно меньше, чем в образцах с NT. После термообработки при 110 °С (рис. 1, г) процесс дегидратации способствует уменьшению количества продуктов гидратации и увеличению количества CA , особенно в образцах с FS. Основным продуктом гидратации является AH_3 , плотность которого меньше, чем у C_3AH_6 . После обработки при данной температуре стратлингит в образцах не идентифицируется, что подтверждается ранее проведенными исследованиями [31]. В образцах с NT при увеличении его количества соотношение между C_3AH_6 и AH_3 приблизительно такое же, как и при термообработке при 80 °С, а значит, преобладают более плотные кристаллогидраты.

Подводя итоги, можно сказать, что, применяя дефлокулянты различного типа, можно изменять соотношение и состав продуктов ги-

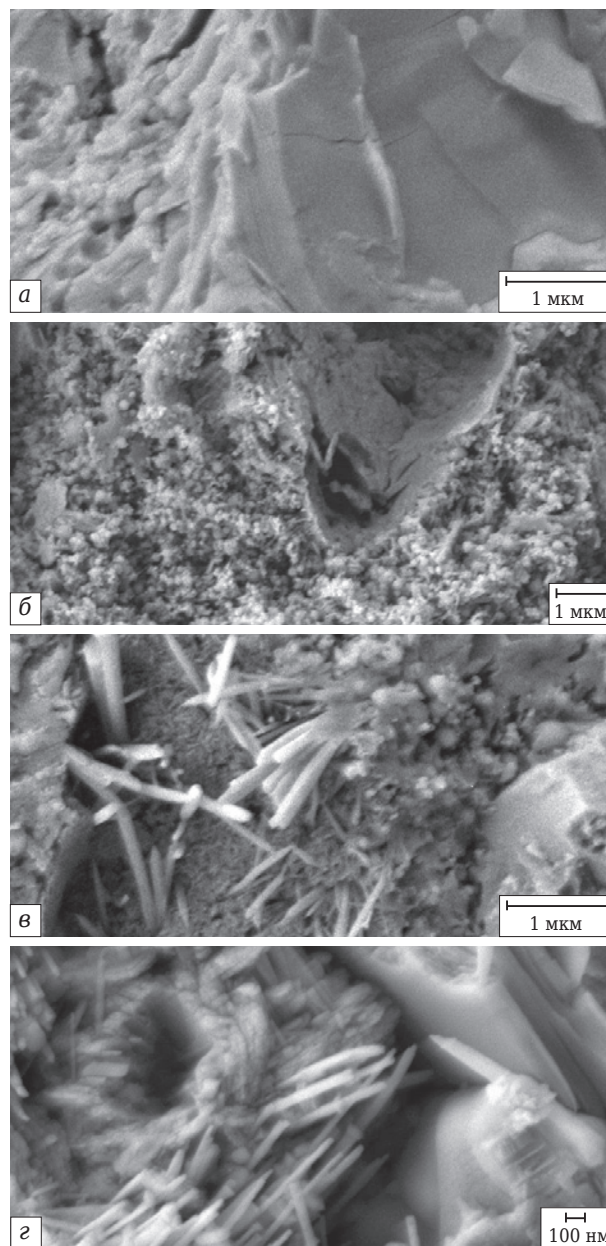


Рис. 3. Микроструктура образца цементной матрицы с добавкой NT (а, в) и добавкой FS (б, г) после термообработки при 60 (а, б) и 80 °С (в, г)

дратации цементной матрицы как в процессе твердения, так и в процессе термообработки. Установлено, что в процессе термообработки в интервале 60–80 °С в матрицах с добавкой дефлокулянта FS гидратация протекает более активно, продуктов больше и образуется стратлингит.

Исследования на СЭМ показали, что микроструктура образцов цементной матрицы с максимальным количеством дефлокулянтов NT и FS (0,3 %) после термообработки при 60 °С различается. В образцах с NT (рис. 3, а) доминируют крупные агрегаты гидратированного минерала CA . Контактных зон между микросферами

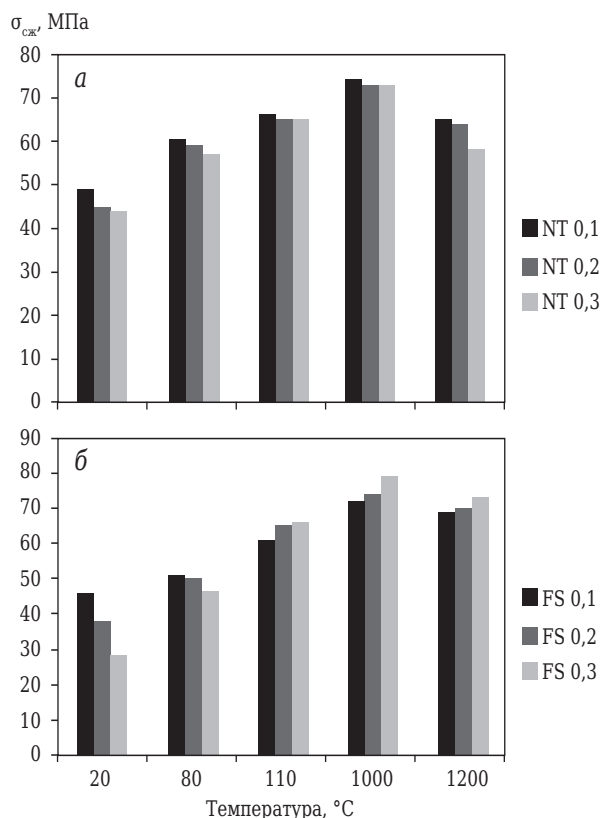


Рис. 4. Значения $\sigma_{сж}$ образцов бетона после термообработки при различных температурах в зависимости от количества дефлокулянта NT (a) и FS (б)

МК и матрицей не наблюдается. В образцах с FS (рис. 3, б) наблюдается множество контактов между матрицей и микросферами МК; на поверхности микросфер видны различные новообразования.

Микроструктура образцов после термообработки при 80 °C также различается. В образце с NT (рис. 3, в) наряду с микросферами МК наблюдаются как мелкие чешуйчатые пластинки, так и радиально-лучистые агрегаты $АН_3$ и крупные кубические кристаллы $С_3АН_6$. Присутствие таких кристаллогидратов подтверждается ранее проведенными исследованиями [32]. При анализе микроструктуры образца с FS наряду с агрегатами $АН_3$ и кристаллами $С_3АН_6$ заметно образование гексагональных пластинок стратлингита (рис. 3, г).

Для исследования влияния добавок NT и FS на физико-механические свойства образцов среднецементного жаростойкого бетона после твердения в течение 3 сут, сушки при 60, 80 и 110 °C и обжига при 1000 и 1200 °C был исследован их предел прочности при сжатии $\sigma_{сж}$ (рис. 4). После твердения образцы с NT незначительно различаются между собой, в то время как увеличение количества FS значительно снижает $\sigma_{сж}$ (от 45 до 28 МПа), что под-

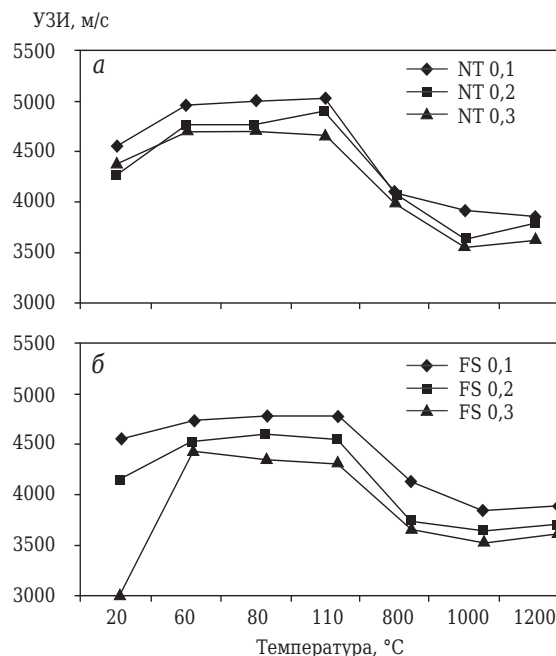


Рис. 5. Изменение УЗИ в образцах бетона в зависимости от термообработки, типа и количества дефлокулянта NT (a) и FS (б)

тверждается рентгенографическими исследованиями (СА гидратируется медленнее). Такие тенденции наблюдались и раньше [6]. После сушки при 60 °C $\sigma_{сж}$ образцов с FS возрастает тем больше, чем больше дефлокулянта в составе бетона, — соответственно на 11, 32 и 67 % по сравнению с $\sigma_{сж}$ после твердения; $\sigma_{сж}$ образцов с NT повышается только на 5–6 %. После сушки при 80 °C $\sigma_{сж}$ образцов с NT возрастает на 15–28 %, а образцов с FS — на 6–8 % в сравнении с $\sigma_{сж}$ после сушки при 60 °C. Такой рост прочности образцов с FS может быть объяснен влиянием новообразований [33]. Известно также, что при образовании стратлингита образуется меньше $С_3АН_6$, и это ведет к уменьшению пористости и одновременно к увеличению $\sigma_{сж}$ [34]. Сушка образцов с максимальной добавкой FS при 110 °C позволяет увеличить $\sigma_{сж}$ примерно в 2 раза по сравнению с $\sigma_{сж}$ после твердения; в образцах с NT $\sigma_{сж}$ возрастает на 35–45 %. После обжига в образцах с FS наблюдается ранее отмеченная закономерность: при увеличении количества FS $\sigma_{сж}$ образцов возрастает. Кроме того, можно заметить тенденцию уменьшения $\sigma_{сж}$ после обжига при увеличении в образцах количества NT.

Возможно, новые структуры стратлингита в процессе дегидратации образуют пространственные контактные структуры (зоны) в матрице бетона и способствуют развитию прочностных характеристик и снижению внутренних напряжений в бетоне в процессе об-

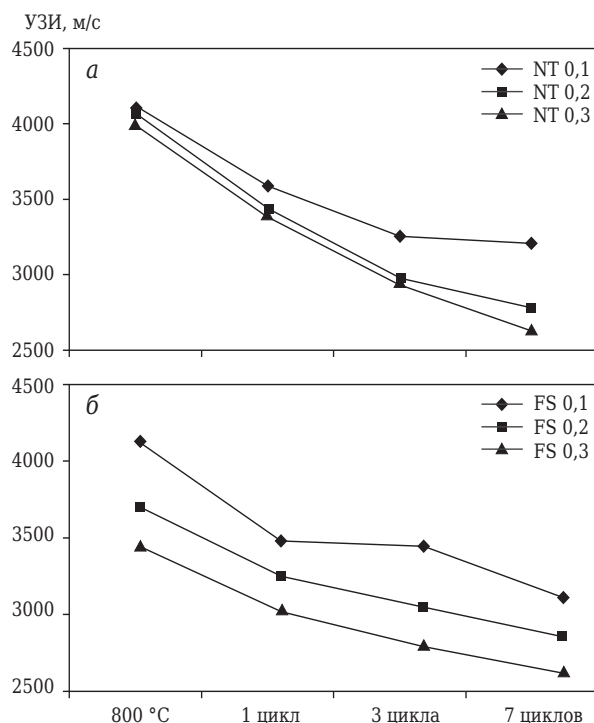


Рис. 6. Изменение УЗИ в образцах бетона с добавкой NT (а) и FS (б) после обжига при 800 °С и после термоциклов

жиг. Независимо от типа дефлокулянта наибольшего $\sigma_{сж}$ образцы достигают после обжига при 1000 °С. Максимальные значения $\sigma_{сж}$ после обжига при 1000 и 1200 °С у образцов с FS несколько выше, чем у образцов с NT, что, возможно, объясняется менее интенсивной усадкой [6, 11].

Влияние количества и типа дефлокулянта на образование структуры бетона в процессе твердения и термообработки при 20, 60, 80, 110, 800, 1000 и 1200 °С (рис. 5) оценивали по измерению скорости УЗИ в образцах бетона. Установлено, что увеличение количества добавки FS в отличие от NT замедляет уплотнение структуры в процессе твердения, особенно это касается образования крупных кристаллогидратов и возможного протекания реакций гидратации в аморфной фазе.

В процессе сушки при 60 °С темпы уплотнения структуры в образцах с добавкой FS тем выше, чем больше добавки в составе. Однако в образцах с NT после сушки при 110 °С значения УЗИ достигают 4600–5000 м/с, а в образцах с FS после сушки — 4250–4700 м/с. Это свидетельствует о том, что добавка дефлокулянта FS способствует образованию более пористой структуры.

После обжига при температурах 800 и 1000 °С независимо от типа и количества дефлокулянта значения УЗИ уменьшаются во всех

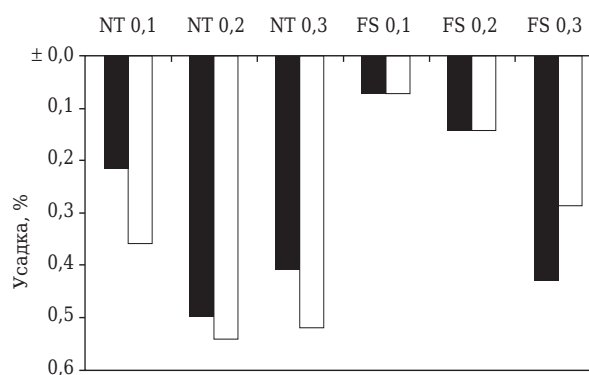


Рис. 7. Усадка образцов бетона после обжига при 1000 (□) и 1200 °С (■) в зависимости от типа и количества дефлокулянта

образцах. Однако если в образцах с NT это уменьшение составляет 20–25 % от значений после сушки, то в образцах с FS всего 12 %. Таким образом, тип и количество дефлокулянта значительно влияет на структуру бетона в процессе обжига. Образцы бетона с добавкой NT, в которых не протекают реакции между МК и минералами цемента, подвержены процессам деструкции в большей мере, чем образцы с добавкой FS, в которых эти реакции протекают. Увеличение количества дефлокулянтов NT и FS не приводит к заметным изменениям скорости УЗИ в образцах после обжига при 1200 °С.

Термостойкость бетонов (рис. 6, 7) оценивали при 800 °С путем циклического нагрева и охлаждения образцов бетона, обожженных при 800 °С. Наибольшие изменения УЗИ происходили после 1-го цикла — у бетона с добавкой NT скорость УЗИ уменьшалась от 12 до 21 %, у бетона с добавкой FS — от 13 до 15 %. Чем выше количество NT в образце, тем более образцы подвержены деструкции в течение 1-го термоцикла. У образцов с FS эта разница составляет 2 %. Далее после 7 термоциклов в образцах с NT значение УЗИ уменьшается на 22–37 % от значений УЗИ в образцах после обжига при 800 °С, а в образцах с FS эта разность составляет 24–27 %. Можно заключить, что при высоком количестве в бетоне дефлокулянта его тип имеет большое влияние на термостойкость бетона, причем образцы с NT подвержены большей деструкции, чем образцы с FS.

После обжига при 1000 и 1200 °С, когда происходит спекание образцов, измеряли их усадку. Исследования показали значительную разницу между влиянием обоих дефлокулянтов на усадку бетона после обжига. Усадка образцов бетона с 0,1 и 0,2 % NT после обжига при 1000 °С в 2–3 раза превышает усадку образцов с добавкой FS. Однако когда количество NT и

FS достигает 0,3 %, значения усадки примерно совпадают. Усадка образцов бетона с добавкой NT после обжига при 1200 °С увеличивается, а образцов с добавкой 0,1 и 0,2 % FS не меняется. В образце бетона с добавкой 0,3 % FS усадка уменьшается. Можно заключить, что усадка образцов бетона с FS в количестве 0,1–0,3 % меньше, чем у образцов бетона с таким же количеством NT.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что тип дефлокулянта и его количество влияют на формирование структуры цементной матрицы, состоящей из глиноземистого цемента и микрокремнезема при соотношении (2,33 : 1,00), и, как следствие, на свойства среднецементного жаростойкого бетона. Установлено, что в процессе твердения при 20 °С увеличение количества NT в матрице ведет к образованию C_2AH_8 , а увеличение количества FS способствует образованию C_2AH_8 . В процессе сушки при 60 и 80 °С реакции гидратации интенсивнее протекают в образцах с FS, в которых вследствие реакции между C_2AH_8 и микрокремнеземом дополнительно образуется стратлингит, что подтверждается исследованиями на СЭМ. После сушки при 110 °С в образцах с добавкой FS преобладает AH_3 , а в образцах с добавкой NT — более плотный C_3AH_6 .

Установлено, что увеличение количества добавки NT незначительно влияет на проч-

ность образцов бетона после твердения, в то время как увеличение количества добавки FS снижает прочность. После сушки при 60 °С вследствие новообразований прочность образцов с FS возрастает быстрее, чем у образцов с NT. Чем выше количество FS в образцах, тем более (до 2 раз) возрастает их прочность после сушки при 110 °С. В образцах с тем же количеством NT прочность повышается на 35–45 %.

После обжига в образцах с добавкой NT прослеживается тенденция уменьшения прочности при увеличении количества добавки, а в образцах с добавкой FS, наоборот, наблюдается некоторое возрастание прочности при увеличении количества добавки. Измерения скорости УЗИ подтверждают, что увеличение количества добавки FS в отличие от NT замедляет уплотнение структуры в процессе твердения и сушки и способствует образованию более пористой структуры. Поэтому после обжига структура образцов с NT более подвержена процессам деструкции, чем структура образцов с FS. Скорость УЗИ в образцах с добавкой NT уменьшается на 20–25 %, а в образцах с FS — на 10–12 % от значений после сушки.

После обжига усадка образцов бетона с добавкой FS значительно меньше, чем у образцов с добавкой NT. Исследования термостойкости бетонов показали, что образцы более плотной структуры с добавкой NT более подвержены деструкции в течение 1-го и 3-го цикла, чем образцы с добавкой FS.

Библиографический список

1. **Vasilik, P.** New dispersants (deflocculants) for the production of refractory concretes / *P. Vasilik* // *Novye Ogneupory*. — 2003. — № 8. — P. 28–30.
2. **Hommer, H.** Recent developments in deflocculants for castables / *H. Hommer, K. Wutz* // 9th Biennial Worldwide Congress on Refractories, 2006. — P. 186–191.
3. **Monosi, S.** High alumina cement-silica fume mixtures in the presence of superplasticizers. Superplasticizers and other chemical admixtures in concrete / *S. Monosi, R. Troli, M. Collepardi* // *Proceedings fifth CANMET/ACI International Conference, Rome, Italy, 1997*. — P. 615–635.
4. **Hommer, H.** The effect of polycarboxylate ethers as deflocculants in microsilica containing castables / *H. Hommer, J. von Seyerl* // Published in : *Proceedings of the 10th Biennial Worldwide Congress on Refractories, UNITECR 07, Dresden, Germany, September 18–21, 2007*. — P. 401–404.
5. **Uchikawa, H.** The role of steric repulsive force in the dispersion of cement particles in fresh paste prepared with organic admixture / *H. Uchikawa, S. Hanahara, D. Sawaki* // *Cement and Concrete Research*. — 1997. — Vol. 27, № 1. — P. 37–50.
6. **Pundiene, I.** The effect of deflocculants on the structure and physical-mechanical properties of fireclay refractory castables / *I. Pundiene, V. Antonovich, R. Stonys* [et al.] // *Material Science*. — 2012. — Vol. 18, № 4. — P. 390–395.
7. **Goberis, S.** The effect of sodium tripolyphosphate on the properties of medium-cement refractory castables based on Gorkal-40 cement / *S. Goberis, I. Pundiene, V. Antonovich* // *Refractories and Industrial Ceramics*. — 2005. — Vol. 46, № 6. — P. 403–408.
8. **Routschka, G.** New plasticizer for ultralow cement (ULCC) andalusite and bauxite castables / *G. Routschka, D. M. Daichennolt, K. Wutz* // *Interacem*. — 2000. — Vol. 49, № 5. — P. 356–359.
9. **Pundiene, I.** Development of refractory concrete for extreme conditions / *I. Pundiene, V. Antonovich, R. Stonys, I. Demidova-Buizine* // 5th Baltic conference on silicate materials (BaltSilica), 23–25 May 2011, Riga, Latvia. IOP Conference Series : Materials Science and Engineering Bristol : IOP Publishing Ltd. — 2011. — Vol. 25. — P. 1–9.
10. **Wutz, K.** Advanced polymers for monolithic refractories / *K. Wutz* // Published in the *Proceedings*

of the Biennial Worldwide Congress on Refractories, UNITECR 2001. — P. 85–97.

11. **Goberis, S.** Effect of the quality of microsilica on the flow properties of cement slurry and characteristics of low-cement refractory concrete on a chamotte filler / *S. Goberis, V. Antonovich, I. Pundiene, R. Stonis* // Refractories and Industrial Ceramics. — 2007. — Vol. 48, № 2. — P. 123–127.

12. **Antonovich, V.** A new generation of deflocculants and microsilica used to modify the properties of a conventional refractory based on a chamotte filler / *V. Antonovich, S. Goberis, I. Pundienė, R. Stonis* // Refractories and Industrial Ceramics. — 2006. — Vol. 47, № 3. — P. 178–182.

13. **Otroj, S.** The factors of influence on the properties of glumina-spinel self-flowing castables / *S. Otroj, R. Mazban, M. Adibi, K. Nikoo* // 48th International colloquium on refractories, Aachen, 2005. — P. 52–55.

14. **Von Seyerl, J.** Influence of temperature and deflocculant on the handling properties of the high density, high alumina castables / *J. von Seyerl* // Refractory Manual. — 2008. — P. 62–65.

15. **Hommer, H.** The effect of organic deflocculants in castables / *H. Hommer, K. Wutz* // Proceedings of the Technical Association of Refractories, TARJ, Japan, Takabutsu, 2006. — Vol. 58, № 5. — P. 248–255.

16. **Bier, T.** Admixtures with calcium aluminate cements and CAS based castables / *T. Bier, C. Parr* // Lafarge Aluminates: presented at the 28th Annual SA Ceramic Society Symposium, Johannesburg, 1996. — P. 1–8.

17. **Parr, C.** Calcium aluminate cements (CAC) for monolithic refractories / *C. Parr, E. Spreafico* // 1st Monolithic conference, Tehran, 1997. — P. 10.

18. **Mathieu A.** Aluminous cement with high alumina content and chemical binders / *A. Mathieu* // Presented at «the engineering and Use of Monolithic Refractories South Africa», 1993. — P. 8.

19. **Peng, H.** Influence of microsilica on properties of bauxite-based castables / *H. Peng, B. Myhre, J. Olaf Rozinski* // Elkem Materials A/S.

20. **Pundiene, I.** Study of the possible application of low quality microsilica in medium cement heat-resistant concrete with deflocculant Castament FS 20 / *I. Pundiene, S. Goberis, V. Antonovich, R. Stonis* // Refractories and Industrial Ceramics. — 2007. — Vol. 48, № 4. — P. 298–302.

21. **Ding, J.** Effect of different inorganic salts / alkali on conversion-prevention in high alumina cement products / *J. Ding, Y. Fu, J. J. Beaudoin* // Advanced cement based materials. — 1996. — № 4. — P. 43–47.

22. **Marcdargent, S.** Hydration and strength of blends CAC-fume silica and stability of hydrates / *S. Marcdargent, M. Testud, J. P. Bayoux, A. Mathieu* // In Proceedings of the 9th International Congress on the Chemistry of Cement, vol. W ; New Delhi, India, 1992. — P. 651–657.

23. **Rodger, S. A.** The chemistry of hydration of high alumina cement in the presence of accelerating and retarding admixtures / *S. A. Rodger, D. Double* // Ce-

ment and Concrete Research. — 1984. — Vol. 14, № 1. — P. 73–82.

24. **Edmonds, R. N.** The hydration of mixtures of monocalcium aluminate and blastfurnace slag / *R. N. Edmonds, A. J. Majumdar* // Cement and Concrete Research. — 1989. — Vol. 19, № 5. — P. 779–782.

25. **Antonovič, V.** Procedural elements in estimation of the thermal shock resistance of different types of refractory concrete based on chamotte filler / *V. Antonovič, M. Šukšta, I. Pundienė, R. Stonys* // Refractories and Industrial Ceramics. New York : Consultants Bureau/Springer. — 2011. — Vol. 52, № 1. — P. 70–74.

26. **Тэйлор, Х.** Химия цемента / *Х. Тэйлор*. — М. : Мир, 1996. — С. 521.

27. **Moehmel, S.** The Influence of microsilica on the course of hydration monocalcium aluminat / *S. Moehmel, W. Gessner, T. Bier, C. Parr* // Calcium Aluminate Cements 2001. Proceedings of the International Conference on Calcium Aluminate Cements (CAC) Held at Heriot-Watt University Edinburg, Scotland, UK, 16–19 July 2001. — P. 319–329.

28. **Garsel, D.** New developments in calcium aluminate cements and in dispersing aluminas for microsilica-containing castable systems / *D. Garsel, J. Heijden, R. Kockegey-Lorenz, G. Kriechbaum* // Presented at XIII Conference on Refractories, Prague, 28–29.03.2000.

29. **Monsen, B.** Effect of microsilica on physical properties and mineralogical composition of refractory concretes published in advances in ceramics / *B. Monsen, A. Seltveit* // New Developments in Monolithic Refractories, Elkem Materials, 1984. — Vol. 13.

30. **Fu, Y.** Mechanisms of stratlingite formation in high alumina cement — siliceous material systems / *Y. Fu, J. Ding, J. Beaudoin* // Accepted for proc. 2nd CANMET / ACI Intl. Sym., Las Vegas, USA, June 11–14, 1995.

31. **Bentsen, S.** Effect of Elkem Microsilica on conversion of HAC / *S. Bentsen, A. Seltveit, B. Sandberg* // Presented at the Midgley Symposium on Calcium Aluminate Cement, London, 9–11 July, 1990.

32. **Antonovič, V.** The Effect of Temperature on the Formation of the Hydrated Calcium Aluminate Cement Structure / *V. Antonovič, J. Kerienė, R. Boris, M. Aleknevičius* // Procedia Engineering. — 2013. — Vol. 57. — P. 99–106.

33. **Quillin, K.** Effects of w/c ratio and curing conditions on strength development in BRECEM concretes / *K. Quillin, G. Osborne, A. Majumdar, B. Singh* // Cement and Concrete Research. — 2001. — Vol. 31. — P. 627–632.

34. **Majumdar, A. J.** Hydration of mixtures of 'Ciment Fondu' aluminous cement and granulated blast furnace slag / *A. J. Majumdar, B. Singh, R. N. Edmonds* // Cement and Concrete Research. — 1990. — Vol. 20, № 2. — P. 197–208. ■

Получено 30.12.13

© И. Демидова-Буйзинене, И. Пундиене,
2014 г.