

ультразвуковым импульсным методом за допомогою дискретних вимірів, розподілених у часі. Внаслідок цього реалізується можливість прогнозування надійності й визначення часу проведення ремонтних робіт.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Шутенко Л. М., Серіков Я. О., Золотов М. С. Дослідження будівельних матеріалів і конструктивних елементів будинків і споруд ультразвуковими методами. К.: Техніка, 2006 - 210 с.
2. Serikov J.A., Serikov S.J. Increase of accuracy of measurement of durability of heterogeneous composite materials by the ultrasonic pulse method on the basis of modeling. / 5th World Congress on Ultrasonics. Paris, France, 7-10 September 2003.
3. Серіков Я.О., Шутенко Л.М., Серіков С.Я. Систематизація задач дослідження якості бетону конструкційних елементів експлуатованих будинків і споруд ультразвуковим імпульсним методом та оперативне визначення його потенційних можливостей при натурних обстеженнях. 4-та міжнародна н-т. конф. "Ресурсоекономні матеріали, конструкції та споруди". Сб. наук. праць. Вип. 9. - Рівне, 2003. С. 456 – 462.
4. Серіков Я. О. Застосування пружних хвиль для контролю структури бетонних закладочних масивів. // Строительство, материаловедение, машиностроение // Сб. научн. трудов. Вып. 24 – ПГАСиА, Днепропетровск: 2003. С. 161 - 166.
5. Сериков Я.А. Исследование железобетонных элементов ультразвуковым импульсным методом на этапе реконструкции. Научно-техн. Сб. «Строительные конструкции», К.:, 2003. С – 251 – 257.

УДК 666.972.5

ГЕНЕЗИС СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ШЛАКОЩЕЛОЧНЫХ ЦЕМЕНТОВ В УСЛОВИЯХ ЦИКЛИЧЕСКОГО ИЗМЕНЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ

Л.В. Щербина, к.т.н., доцент

Запорожская государственная инженерная академия, г. Запорожье

На сегодняшний день одной из важнейших задач в области эксплуатации изделий и конструкций из бетона и железобетона является повышение их надежности и долговечности. Одним из путей решения данной задачи является обеспечение проектных показателей прочностных характеристик, обеспечение требований по трещиностойкости, а так же обеспечение неизменяемости линейных размеров изделий и конструкций на всех этапах эксплуатации, независимо от атмосферных воздействий. Поэтому решение вопросов стабильности свойств бетонов является достаточно актуальной задачей.

Анализ известных трудов О.Е. Шейкина, Ю.М. Баженова, О.Я. Берга, Т.К. Пауэрса и др. позволяет говорить о том, что одним из основных

факторов, позволяющим регулировать прочностные характеристики искусственного камня, и в особенности деформационные свойства цементных матриц и бетонов, является фактор направленного регулирования процессов формирования микроструктуры искусственного камня на стадии коагуляционно-кристаллизационных процессов, обеспечивающих направленный синтез и скорость кристаллизации, а также морфологию гидратных фаз, объем порового пространства, размер пор и степень их равномерности в объеме искусственного камня.

Управление свойствами цементного камня может реализоваться в направлении и за счет: регулирования фазового состава продуктов гидратации, изменения соотношения кристаллической и гелевидной фаз, корректирования поровой структуры. При этом морфология, пористость, плотность и химический состав это взаимосвязанные факторы, которые определяют параметры материала по структуре и свойствам.

В свою очередь строение и взаимосвязь элементов микроструктуры цементного камня, размер и характер пор, соотношение между фазовыми составляющими зависят от состава продуктов гидратации, которые определяются химико-минералогическим составом исходных вяжущих веществ и количеством воды затворения, при условии соблюдения оптимальной технологии приготовления и укладки бетонной смеси, времени и режима твердения.

Эти подходы позволяют обеспечить формирование цементов и бетонов с высокими и заданными эксплуатационными характеристиками. Однако для шлакощелочных систем эти положения не нашли реализации в достаточной мере, что является сдерживающим фактором более широкого их внедрения в производство. Особенно это имеет место в недостаточной и противоречивой информации об изменении прочности на растяжение при изгибе и деформационных характеристик шлакощелочного искусственного камня во времени в зависимости от влагопеременных нагрузок, что не позволяет в достаточной мере прогнозировать атмосферостойкость шлакощелочных бетонов.

Появление собственных напряжений в твердеющем цементном камне может быть следствием: кристаллизационного давления растущих из жидкой фазы кристаллов, распада и перекристаллизации метастабильных (неустойчивых) твердых фаз, действия осмотических сил.

Собственные напряжения в твердеющем цементном камне возникают на определенном этапе твердения цемента, когда сформировалась жесткая коагуляционно-кристаллизационная структура, препятствующая перемещению гидратирующихся цементных зерен под действием кристаллизационного давления, осмотических сил и других причин.

Экспериментальные данные показывают, что собственные напряжения, вызванные кристаллизационным давлением растущих кристаллов на препятствие в большей степени понижают прочность цементного камня при растяжении, чем при сжатии.

Собственные напряжения в цементном камне, вызванные как кристаллизационным давлением растущих из жидкой фазы кристаллов, так и действием осмотических сил, могут сохраняться только в условиях продолжающейся гидратации цемента. С течением времени собственные

напряжения цементного камня снижаются как за счет релаксационных процессов, так и за счет уменьшения скорости гидратации, сопровождающей уменьшением степени пересыщения жидкой фазы, заполняющей поровое пространство твердеющего камня. Этим объясняется повышение прочностных свойств цементного камня в поздние сроки твердения. Однако, значительные собственные напряжения, возникающие в твердеющем цементном камне, не только обуславливают медленный рост прочности, но и могут вызвать существенные нарушения в его структуре, сопровождающиеся резкими спадами прочностных характеристик искусственного камня.

Период деструкции может начинаться с первого момента эксплуатации конструкций и характеризуется постепенным накоплением разрывов между структурными элементами бетона. Установлено, что процесс постепенного нарушения структуры происходит даже при малоупругой деформации. Так, попеременное увлажнение и высушивание при эксплуатации бетонных сооружений сопровождается изменяющимися по направлению процессами усадки и набухания. В таких условиях в цементном камне накапливаются остаточные деформации, расшатывающие структуру, в результате чего его механическая прочность и долговечность снижаются. Установлено, что усадочные явления на последних этапах связаны с изменениями структуры цементного камня на субмикроструктурном уровне.

Наряду с фазовым составом и пористостью на прочность искусственного камня оказывает влияние его текстура и морфология гидратных фаз, которые определяются взаимной ориентацией, размерами и формой блоков-агрегатов, имеющих слоистое строение. Минералогический и фазовый состав продуктов твердения шлакощелочного вяжущего обеспечивает условия для формирования в микроструктуре камня блоков-агрегатов различных размеров и ориентации, что затрудняет разрыв и скольжение слоев под нагрузкой и повышает прочность бетона при растяжении и изгибе.

Предпосылками настоящей работы являются многочисленные работы ученых НИИВМ по направленному формированию состава щелочных вяжущих систем, структуры и свойств цементного камня на их основе.

Анализ основных теоретических положений в области структурообразования щелочных цементов показал возможность стабилизации прочностных характеристик шлакощелочного вяжущего и бетона в ранние сроки за счет введения добавок, интенсифицирующих образование низкоосновных гидросиликатов кальция (например, портландцемента) и в более поздние – добавок, предопределяющих синтез щелочных гидроалюмосиликатов (например, цеолитовых пород).

Анализ информации о влиянии структурных характеристик на свойства искусственного камня, а также о методах управления микро- и макро структурой цементов, в том числе и шлакощелочных позволили выдвинуть гипотезу о возможности получения шлакощелочных вяжущих и бетонов на их основе со стабильными свойствами при эксплуатации их в различных температурно-влажностных условиях, путем оптимизации соотношения в структуре искусственного камня гидратных фаз силикатного и алюмосиликатного состава и степени упорядочения их структуры, а также оптимизации характера

распределения пор в поровом пространстве, путем введения в систему минеральной добавки на основе термоактивированного цеолита.

При затворении шлакового цемента раствором щелочного компонента происходит его гидратация с образованием на первом этапе большого количества гелеобразных масс тоберморитоподобного состава. На втором этапе твердения, протекающего в более поздние сроки и в течение длительного времени, происходит выкристаллизовывание новообразований щелочно-щелочноземельного алюмосиликатного состава.

Введение в состав таких вяжущих цеолитовых пород, хотя и ускоряет кристаллизационные процессы, но незначительно, так как эти породы выполняют только роль кристаллохимических подложек, не вступая в химическое взаимодействие с продуктами гидратации и с компонентами вяжущего и в первую очередь, с находящимися в свободном состоянии в значительном количестве (до 70 мас.%) щелочным компонентом.

Предварительная дегидратация цеолитовой породы, в интервале температур 600-900°C, изменяет ее свойства, порода становится химически активной, в первую очередь по отношению к щелочному компоненту. Кроме того, в связи с тем, что при дегидратации происходит удаление из цеолитов химически связанной воды без разрушения структуры, дегидратированная порода становится активным кристаллохимическим интенсификатором кристаллизационных процессов. Все это ускоряет завершение гидратационных и кристаллизационных процессов твердеющего цементного камня, что в свою очередь обуславливает стабилизацию во времени его прочностных и деформационных свойств.

Исследования шлакощелочных вяжущих показали, что, чем выше проектные прочностные показатели искусственного камня, тем более значительные их колебания могут наблюдаться при изменении условий эксплуатации.

Для изучения влияния влажности среды эксплуатации на прочностные и деформационные характеристики шлакощелочного камня в качестве базового был принят состав на основе основного доменного гранулированного шлака и жидкого натриевого стекла.

Исследование влияния термоактивированных цеолитов на процессы структурообразования искусственного шлакощелочного цементного камня осуществляли на основе оптимизированных, по прочностным характеристикам, составов модифицированных цементов.

Оптимальное количество термоактивированной цеолитовой породы, в составе вяжущего, должно составлять 10-12% от массы шлака, при этом дегидратация породы должна проводиться при температуре 750°C. Максимальные прочностные характеристики получены при использовании растворимого силиката натрия с модулем $M_c=2$.

Анализ стабилизирующего эффекта термоактивированной цеолитовой породы проводили на основании сравнения физико-механических и деформационных характеристик модифицированного шлакощелочного вяжущего и вяжущего без добавок.

Изменения прочностных характеристик составов с оптимальным введением термоактивированной породы показали, что как и для бездобавочных составов наиболее неблагоприятными условиями эксплуатации является циклическое воздействие влаги. Однако, в отличие от

бездобавочных составов в которых падение прочности на растяжение при изгибе при циклическом воздействии влаги с 11,0 МПа до 6,2 МПа составляет 56% от прочности после ТВО, у составов модифицированных термоактивированной цеолитовой добавкой это падение составляет 17%, с 10,5 МПа до 8,7 МПа.

Так же анализ деформационных характеристик, а именно влажностной деформации усадки показывает, что у составов с термоактивированной цеолитовой породой значительно снижаются линейные деформации усадки при хранении в воздушно-сухих условиях, так относительная величина влажностной усадки составляет 0,9 мм/м, что практически в два раза ниже, чем у бездобавочных составов. При хранении образцов в воде стабилизация деформаций набухания наступает уже на 35–40 сутки и её величина составляет 0,8 мм/м, что на 30% ниже, чем у бездобавочного состава.

Исследование физико-химических процессов структурообразования изучаемых шлакощелочных цементов показывает, что, при введении в вяжущее термоактивированной при температуре 750°C цеолитовой породы, состав новообразований искусственного камня представлен повышенным, по сравнению с бездобавочными вяжущими, содержанием гелевидной фазы в составе гидросиликатов кальция, идентифицированных, по структуре, с CSH(I).

В модифицированных вяжущих, также, представлена гидросиликатная составляющая с повышенным отношением в её составе Ca/Si, о чем свидетельствуют уменьшение дифракционного максимума на рентгенограмме с $d=(0,303 \text{ нм})$ и появление дополнительной дифракционной характеристики с $d=(0,307 \text{ нм})$, характерной для гидросиликатов, по составу и структуре, идентифицированных с CSH(II) с $d=(0,307; 0,285; 0,182; 0,155 \text{ нм})$.

Кроме этого, отличительной особенностью фазового состава гидратированных шлакощелочных систем, модифицированных термоактивированной цеолитной составляющей, является наличие дополнительных гидратных соединений кристаллической структуры, идентифицированных по составу с анальцитом $d=(0,560; 0,543; 0,330; 0,285; 0,250; 0,165 \text{ нм})$, а также со смешанными натриево-кальциевыми гидроалюмосиликатами состава $(\text{Na}_2, \text{Ca})\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ с $d=(0,404; 0,333; 0,273 \text{ нм})$.

Такое направление структурообразующих процессов подтверждается результатами исследований дифференциально-термического анализа твердеющих систем. Так, о перераспределении в гидратированной системе, содержащей термоактивированный цеолит, гелевидной и кристаллической фаз CSH состава, изменении морфологии структурообразующих соединений гидросиликатного состава, связанной с повышением отношения Ca/Si, свидетельствуют: сдвиг в область пониженных температур (со 143°C для бездобавочного состава на 120°C для состава с модификатором) на ДТА кривой эндотермического максимума, а также наличие на ДТА кривой смещения экзотермического максимума, связанного с образованием волластонита, в область повышенных температур (с 772°C для бездобавочного цемента на 790°C для модифицированного состава).

Наличие в твердеющей системе кристаллических фаз цеолитного состава подтверждается эндотермическими на ДТА кривой в области температур 430°C и

600°C, характерных удалению кристаллизационной и цеолитной воды из натриевых и смешанных натриево-кальциевых гидроалюмосиликатов.

Данные ИК-спектроскопии также подтверждают наличие в составе продуктов гидратации исследуемой вяжущей системы вышеописанных гидратных фаз. При этом исчезновение полосы поглощения при 1419 см^{-1} , характерной для немодифицированного цеолитной составляющей вяжущего, свидетельствует об отсутствии в продуктах гидратации кальцита, а появление высокоинтенсивной полосы поглощения 2316 см^{-1} указывает на высокую степень хемосорбции активными центрами новообразований углекислого газа. Этот процесс характеризует повышенную, по сравнению с бездобавочным вяжущим, удельную поверхность гидратных фаз в модифицированной системе. Также отмечено повышение интенсивности полосы поглощения при 870 см^{-1} у модифицированной вяжущей системы, обуславливающей повышенное образование натриево-кальциевых гидросиликатов, которые не фиксируются на рентгенограммах в следствие субмикроструктурной структуры.

Характер изменения и общее уменьшение потери массы на ТГ кривой, гидратированной модифицированной системы, по сравнению с бездобавочным цементом, свидетельствует о повышении в составе искусственного камня кристаллических структурообразующих соединений и снижении в твердеющей системе свободной и кристаллизационной воды, характерной для гидросиликатов кальция. Так сдвиг температурного интервала потери массы в область повышенных температур модифицированного цемента (с 50–170°C для бездобавочного цемента на 120–220°C для модифицированного состава) свидетельствует о повышении в модифицированных цементах количества кристаллизационной и цеолитной воды характерного для цеолитных составляющих, что предопределяет повышение степени упорядочения структуры искусственного камня, плотности и прочности.

Характер порового пространства у камня на основе модифицированного вяжущего показывает их равномерное распределение в объеме цементирующей матрицы, а сами поры характеризуются незначительными размерами.

При введении в состав шлакощелочного вяжущего термоактивированной цеолитовой породы значительно уменьшается количество пор с радиусом около 1 нм, преимущественное распространение имеют поры с радиусом 2...10 нм. При этом, с увеличением радиуса пор различие между их распределением в бездобавочном составе и в составе с добавкой термоактивированного цеолита усиливается, средний радиус частиц глобулярной модели структуры увеличивается с 21 нм у бездобавочных составов до 32 нм у вяжущих систем с добавкой цеолита, что обуславливает уменьшение удельной поверхности новообразований искусственного камня с $58 \text{ м}^2/\text{г}$ до $38 \text{ м}^2/\text{г}$.

Это позволяет отметить формирование в искусственном камне плотной регулярной структуры на макро- и микро уровнях. Об этом также свидетельствует хорошее совпадение значений среднего эффективного радиуса пор, полученного сорбционным методом (13 нм) и методом капиллярной пропитки (7 нм). Плотность упаковки на микро- и макро уровнях соответствует гексогональной структуре с искаженными деформациями порами. Предположительно это связано с тем, что вода,

адсорбированная в тонких порах цеолита, удерживается достаточно прочно, и в то же время энергия связи этой воды меньше энергии гидратации. Иначе говоря, добавка цеолита играет роль “депо” воды и обеспечивает продолжение гидратации на поздних стадиях и в еще более стесненных условиях, что и приводит к организации все более микропористой структуры с увеличенным количеством контактов между частицами.

Положительный эффект действия вводимой термоактивированной цеолитовой породы объясняется ее кристаллохимическими особенностями. В частности при гидратации исследуемой вяжущей композиции наблюдается регидратация добавки, то есть почти полное восстановление структуры трехмерных каркасных силикатов $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot (6 \div 10) \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, инициирующих, за счет ускорения катионно-обменных процессов, кристаллизацию из гелевой фазы новообразований каркасной структуры. Следовательно, при введении в состав вяжущего термоактивированной цеолитовой породы, ускоряется завершение гидратационных и кристаллизационных процессов, повышается жесткость твердеющего цементного камня, что и обуславливает относительную стабильность во времени его прочностных и деформационных характеристик, по сравнению с аналогичными показателями бездобавочного шлакощелочного вяжущего.

УДК 624.01

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ НАТУРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ВАНТ-ВІДТЯЖЕК ВИСОТНИХ СПОРУД

Ю.М. Яровий, к.т.н., А.О. Мозговий, к.т.н., О.І. Горовий*, О.Б. Сорокін**, к.т.н., О.І. Сергієчко***, к.т.н., В.В. Попов****,

ХДТУБА

*ЗАТ інститут "Харківський ПРОМБУДНДІПРОЕКТ",

** (Кузбаський державний політехнічний університет),

*** (ЛБП "Укрсхідреконструкція")

**** (ДП "Східний експертно-технічний центр")

Постанова проблеми.

Мета роботи полягає в удосконаленні практичних способів дослідження напружено-деформованого стану вант-відтяжок висотних споруд і розробці алгоритму оцінки чисельних параметрів комбінованої системи труба-відтяжка, обґрунтуванні сучасних заходів їх надійної і безпечної експлуатації. Обґрунтовується спосіб безконтактного вимірювання деформацій вант-відтяжок із залученням сучасної цифрової фототехніки.

Аналіз існуючих рішень.

При обстеженні і проектуванні висотних споруд, підкріплених вантами-відтяжками, перед проектувальником постає задача оптимального вибору зусиль натягу відтяжок комбінованих систем труба-відтяжка, щогла-відтяжка. Сучасна нормативна і довідкова література, зокрема [1,2], не містить чисельних значень зусиль у відтяжках. Аналіз джерел науково-технічного напрямку дозволив з'ясувати, що в сучасних проектних рішеннях величина

зусиль натягу вант-відтяжок становить 30÷50% від величини межі міцності сталевих канатів вант-відтяжок. Але теоретичного обґрунтування цих величин з'ясувати не вдалось. Деформований стан вант-відтяжок нормативна література рекомендує визначати геодезичними вимірвальними приладами.

Методика проведення досліджень.

Задача оцінки напружено-деформованого стану вант-відтяжок розглянута на прикладі димової металевої труби висотою 36,25м, загальний вигляд якої наведений на рис. 1. Метою дослідження є встановлення напружено-деформованого стану вант-відтяжок і розробка рекомендацій подальшої безпечної і надійної експлуатації комбінованої системи труба-відтяжка.

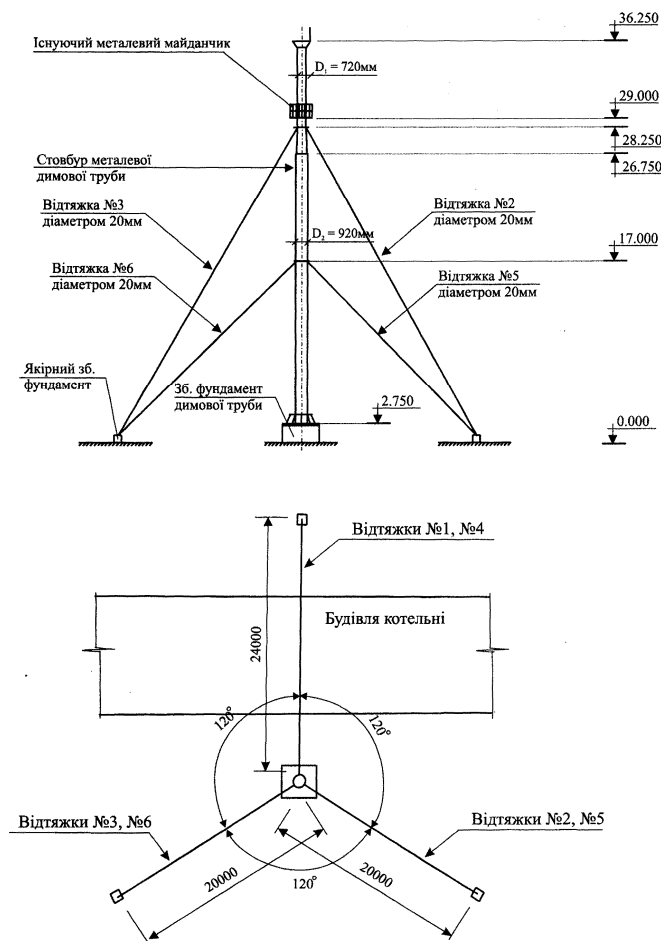


Рис. 1. Схема існуючої металевої димової труби висотою 36,25м.