

ВЛИЯНИЕ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК НА СТРУКТУРУ И ПРОЧНОСТЬ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

А. О. Садрашева, А. В. Песоцкий

Алтайский государственный технический университет
им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

В данной статье представлено влияние различных минеральных добавок на структуру и прочность цементного камня, а также на тяжелый бетон. Исследовалась группа минеральных добавок, оказывающих влияние на формирование C-S-H геля – основной фазы твердения цементного камня.

Ключевые слова: цементный камень, минеральные добавки, волластонит, C-S-H гель, гидросиликаты кальция.

Дополнительные вяжущие материалы и другие минеральные добавки используются в возрастающих количествах в цементе и бетоне. Их основные технические преимущества в том, что они улучшают обрабатываемость свежего бетона и долговечность затвердевшего бетона. На самом деле, они затрагивают практически все свойства бетона. Их экономические и экологические выгоды могут быть столь же значительными, и их использование как ожидается, возрастет, так как бетон остается самым распространенным строительным материалом.

Добавки могут быть жидкими или порошкообразными. Материалы, которые добавляются в процессе смешивания, берут в небольших процентах (Макс. ~ 5%), от массы цемента.

Добавки влияют на характеристики бетона из-за химических или физических последствий. В зависимости от типа добавки, они могут влиять на характеристики свежего или затвердевшего бетона. В первом случае должны быть, например, изменения в поведении бетона и улучшиться обрабатываемость свежеприготовленного бетона. Во втором случае характеристики затвердевшего бетона (например, предел прочности при сжатии).

Гидросиликат кальция (C-S-H) является основным продуктом гидратации портландцемента. Несмотря на то, C-S-H рассматривается как аморфная фаза в макро масштабе, на атомном уровне структура C-S-H считается нанокристаллической. В последние несколько десятилетий были проведены различные исследования и предложены многие модели чтобы описать структуру C-S-H в наномасштабе. Тоберморит и дженнит рассматриваются как два естественно существ-

вующих кристаллических твердых тела, разделяющих сходные структуры с C-S-H, особенно тоберморит.

В среднем за период гидратации приблизительно 30% цемента отреагирует. Быстрое образование гидросиликатов кальция (C-S-H) и гидроксида кальция (CH) сопровождается значительным выделением тепла. CH образует массивные кристаллы первоначально заполненные водой в пространстве. C-S-H образует утолщенный слой вокруг зерен цемента (рисунок 1). По мере того как оболочки растут наружу, они начинают объединяться в течение 10 - 12 ч. - время, совпадающее с максимальной скоростью выделения тепла.

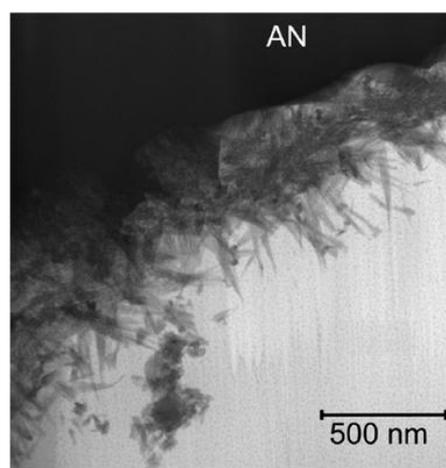


Рисунок 1 – Гидраты растут вокруг C_3S в течение 10 ч. Ближе к поверхности есть плотная зона беспорядочно ориентированных игл, затем более перпендикулярно ориентированные к поверхности

Оболочки, по-видимому, достаточно пористые, что обеспечивает прохождение воды в растворенные минералы цемента. Начинает появляться зазор между оболочкой и гидратированной поверхностью зерна цемента. Ближе к концу среднего периода рост основных кристаллов завершается [1].

В состав цементного камня входят гидросиликаты кальция – основные носители его прочности и долговечности: волокнистые тоберморитоподобные фазы – соединения общего состава $4\text{CaO}\cdot 5\text{SiO}_2\cdot 5\text{H}_2\text{O}$; $\text{CaO}\cdot \text{SiO}_2\cdot \text{H}_2\text{O}$; $3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$, а также гидросиликаты с отношением $\text{CaO}:\text{SiO}_2 = 1,7:2$.

К силикатам кальция относятся такие минералы как: минералы портландцементного клинкера, минералы группы мелилита – островные силикаты (диортосиликаты): геленит, окерманит, ранкинит; волластонит.

Волластонит $\beta\text{-CaO}\cdot 5\text{SiO}_2$ ($\beta\text{-CS}$) и псевдоволластонит $\alpha\text{-CaO}\cdot 5\text{SiO}_2$ – однокальциевые силикаты. Волластонит – природный минерал, образуется также при расстекловании некоторых технических стекол. Структура волластонита (рисунок 2) характеризуется повторяющимися, тетраэдрами кремнезема. Цепочки, формируемые этими тетраэдрами, соединены по ребрам через кислород и кальций, образуя восьмигранники. Благодаря такой структуре, волластонит растет как игольчатый кристалл и сохраняет эту игольчатую структуру при расщеплении. Высокая плотность кварцевых цепочек обеспечивает твердость этого минерала (4,5-5 по Моосу). В природе небольшое количество кальция может замещаться железом, магнием, марганцем, алюминием, калием и натрием [2]. Игольчатая форма зерна волластонита определяет основное направление его использования в качестве микроармирующего наполнителя.

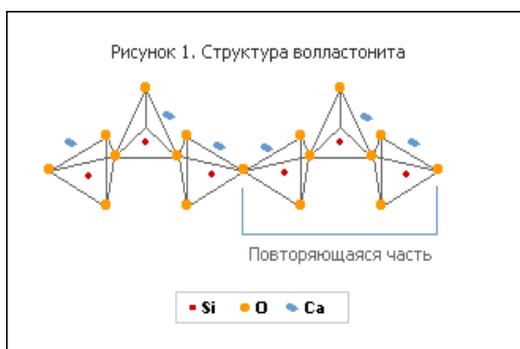


Рисунок 2 – Структура волластонита

Искусственно полученные естественные минералы путем синтеза из исходных веществ выгодно отличаются от своих аналогов, образованных в природных условиях, так как в них отсутствуют химические и механические примеси. Так, при автоклавной обработке известково-кремнеземистых смесей происходит ряд сложных физико-химических процессов, в результате которых получаются монолитные сростки минералов. В зависимости от соотношения компонентов у исходного материала CaO/SiO_2 и условий обработки возможно получить различные минералы.

Согласно диаграмме состояния системы (рисунок 3) CaO/SiO_2 , для получения тоберморита должно создаваться давление соответствующее температурам от 60 до 170°C и отношении CaO/SiO_2 равное 0,8. Получение ксонотлита происходит при температурах от 150 до 1050°C и отношении CaO/SiO_2 равном 1. Получение волластонита из тоберморита возможно путём обжига гидросиликата при температуре 850°C (температура разложения тоберморита на волластонит) [2].

Многочисленные минеральные добавки к цементу выбирают по способности связывать в пуццолановой реакции известь цементного камня. В результате такой реакции образуется дополнительное количество фазы C-S-H, что является положительным.

Ранее проведенные исследования [3] показали, что оптимальное количество введения добавок, таких как волластонит и диопсид, в цементный камень составляет 7-9%. При введении волластонита прочность цементного камня возрастает на 50–65% при содержании добавки 5–9% мас.

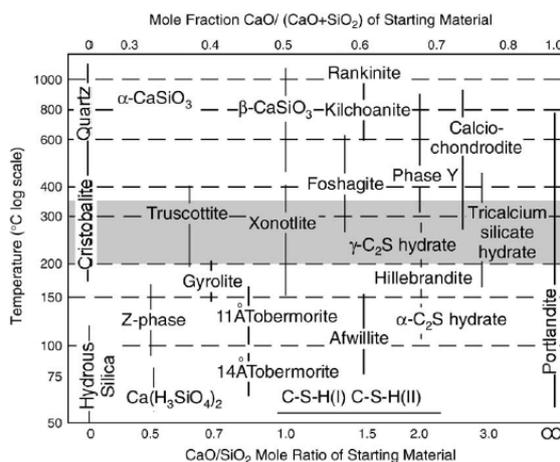


Рисунок 3 – Диаграмма состояния системы CaO/SiO_2

ВЛИЯНИЕ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК НА СТРУКТУРУ И ПРОЧНОСТЬ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

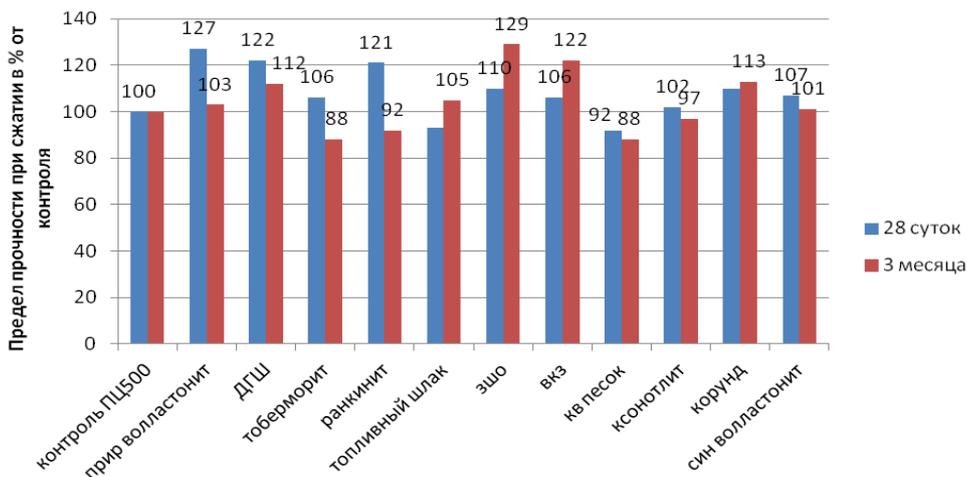


Рисунок 4 – Влияние вида добавок на прочность цементного камня при их содержании 10% после твердения в нормальных условиях

При большем и меньшем количестве добавки наблюдается меньшее увеличение прочности.

При введении в состав цемента минеральных добавок, повышающих прочность цементного камня (волластонит, диопсид, диабаз) наблюдается четко выраженный максимум значений прочности.

Если плотность добавки близка к плотности клинкерных минералов и дисперсность добавки и цемента примерно одинакова, то оптимальное количество добавки составляет около 8 масс.%. При увеличении дисперсности добавок их оптимальное количество уменьшается.

Взаимодействие добавок с клинкерными минералами осуществляется в зоне контакта частиц этих компонентов. Очевидно, оптимальная концентрация добавок соответствует случаю, когда частица добавки со всех сторон плотно окружена частицами цемента.

Меньшее количество добавок приведет к снижению эффективности их действия. При большем их содержании возможны прямые контакты между частицами добавок, что также снизит эффективность их влияния.

Введение минеральных добавок (волластонит, диопсид, диабаз) способствует повышению прочности цементного камня минеральными добавками, а также их воздействием на процесс гидратации цемента. Кроме того, если модуль упругости минеральной добавки выше, чем у цементного камня, то при действии внешних нагрузок больший уровень напряжений приходится на

материал добавки, который намного прочнее цементного камня. Это также обеспечивает повышение прочности цементного камня в целом.

В работе была исследована прочность цементного камня из ПЦ 500 Д 0 с добавками различного минералогического и химического состава. Установлено, что добавки, содержащие в своей структуре диортогруппы $[\text{Si}_2\text{O}_7]$ или фрагменты структуры из диортогрупп, а также волластонитовые цепочки, повышают прочность цементного камня на 20-30% при твердении в нормальных условиях. Это такие добавки как природный и искусственный волластониты, ранкиннит, тоберморит. Так как эти добавки не связывают известь и не являются химически активными, их следует называть структурно-активными минеральными добавками (САМД) в отличие от химически активных ХАМД, связывающих известь.

На основе анализа кристаллохимического строения кремне-кислородных анионов силикатов и гидросиликатов кальция, были выбраны для синтеза и исследования:

1) доменный и топливный высококальциевый шлаки, содержащие в стеклофазе 60-75% и 40-70% димера $[\text{Si}_2\text{O}_7]$ соответственно и ранкиннит, в котором должно содержаться 100% диортогрупп;

2) природный и синтетический (из тоберморита) волластониты, содержащие волластонитовую цепочку из кремнезема;

3) тоберморит и ксонотлит, содержащие в элементах структуры диортогруппу $[\text{Si}_2\text{O}_7]$.

Кроме этого для сравнения были выбраны активная пуццолана – пыль от производства ферросилиция – микрокремнезем, тонко молотые кварц и корунд.

Анализируя полученные данные по прочности можно сделать вывод, что лучшие прочностные свойства имеют системы с добавкой природного волластонита, ранкинита, доменного гранулированного шлака (ДГШ) и золошлаковых отходов (ЗШО), повышающие прочность на 20-27% выше контроля (рисунок 4).

Хорошо проявили себя в поздние сроки ЗШО и ВКЗ, дающие повышение прочности на 22-29%. Это можно объяснить тем, что кислые ЗШО и шлаки в процессе гидратации связывают известь гидролизующихся клинкерных силикатов.

Полученные данные подтверждают гипотезу об определяющей роли кристаллохимического строения кремне-кислородного аниона добавок: содержание в структуре добавок диортогруппы $[\text{Si}_2\text{O}_7]$ или фрагментов диортогруппы, а также волластонитовых цепочек, лент и слоев, в которых можно выде-

лить $[\text{Si}_2\text{O}_7]$ или пентомеры являются наиболее эффективными добавками, работающими по схеме шаблонирования (репликации, сборки) структуры геля C-S-H.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Richardson, I. G. The calcium silicate hydrates / I. G. Richardson // Cement and Concrete Research. 2008. – № 38. – С. 137–158.
2. Егоров-Тисменко, Ю. К. Кристаллография и кристаллохимия / Ю. К. Егоров-Тисменко. – М.: Изд-во книжный дом «Университет», 2005. – 589 с.
3. Бердов, Г. И. Влияние волластонита на прочность цементного камня из длительного хранившегося портландцемента / Г. И. Бердов, Л. В. Ильина // Строительные материалы. – 2011. – № 1. – С. 48-49.

Садрашева А.О. – аспирант ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: aizhanaolegovna@mail.ru.

Песоцкий А.В. – аспирант ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова.

УДК 621.926:519.6

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ РАСЧЕТА ВИБРОИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ ПУТЕМ ОБОСНОВАНИЯ ИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМОВ РАБОТЫ

А. В. Сартаков

Алтайский государственный технический университет
им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

Рассмотрены движения внутримельничной загрузки в виброизмельчителях, установлены закономерности движения, на основе чего предложена методика обоснования параметров режимов работы вибрационных измельчителей.

Ключевые слова: *измельчение, виброизмельчители, внутримельничная загрузка, дисперсность, агрегация.*

Измельчение материалов является одной из завершающих технологических операций при переработки исходного сырья в промышленных отраслях, в частности в строительстве. Процесс осуществляется в измельчителях различного типа. Это аппараты ударного действия (дезинтеграторы, струйные мельницы), истирающего действия (валковые, роликовые мельницы), ударно-истирающего действия (шаровые, вибрационные, планетарные мельницы) и др. Основным недостатком, присущим для всех перечисленных измельчителей, являются низкий к.п.д., высокая энергоёмкость процесса и

весьма ограниченная кинетика измельчения, обусловленная агрегацией мелких частиц, снижающей удельную поверхность продукта.

Пути решения отмеченных проблем возможны совершенствованием продукции измельчительных аппаратов и экспериментальным определением наиболее эффективных режимов работы оборудования. К сожалению, это не всегда удается, так как подобное оборудование выпускается серийно и сложно вмешаться в корректировку процесса работы аппарата. Известно также, что эффективность измельчительного процесса заключается в организации сложных форм траекто-