

## ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ МИКРОДОБАВОК НА ПРОЧНОСТЬ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

Г.И. Овчаренко, А.В. Песоцкий, Е.Г. Аввакумов

*Исследована прочность камня из теста нормальной густоты из смешанных цементов с добавками на основе кремнеземов (кварц, микрокремнезем), корунда, силикатов кальция (природный и искусственный волластонит, ранкинит), гидросиликатов кальция (тоберморит, ксонотлит), техногенных шлаков (топливные высококальциевые, каменноугольные, доменные). Показана зависимость прочности камня от тонкости минерального наполнителя и особенностей его структуры.*

*Ключевые слова: Смешанные цементы, минеральные добавки, взаимосвязь прочности, дисперсности и структуры.*

### ВВЕДЕНИЕ

В технологии вяжущих веществ широко применяются различные минеральные добавки. Как правило – это активные минеральные добавки (АМД), связывающие при твердении известь. Однако в последние годы появились публикации [1, 2], указывающие на то, что инертные в химическом отношении к минералам цементного камня кристаллические минералы (например, волластонит) при очень тонком измельчении могут оказывать положительный эффект на твердение цемента. Поэтому нами была исследована группа минеральных добавок, способных оказать влияние на формирование С-S-H фазы цементного камня.

### СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В качестве минеральных добавок применялись такие, как кварцевый песок, микрокремнезём ферросплавного производства, корунд, топливный высококальциевый и доменный шлаки, природный волластонит. Также применяли добавки, синтезированные в лабораторных условиях. Это тоберморит, ксонотлит, ранкинит и синтетический волластонит. В качестве вяжущего использовался

цемент М400 Д20 Искитимского цементного завода.

### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Для проведения эксперимента добавки размалывались в планетарной мельнице АГО-3 при одинаковых условиях помола и имели средний диаметр 50% тонкой фракции изменяющийся от 5 до 25 мкм (таблица 1). Самое тонкое измельчение получили такие добавки, как кварцевый песок (рисунок 1) и доменный гранулированный шлак (рисунок 2).

Для определения прочности при сжатии формовались образцы-кубики размером 2×2×2 см. Образцы изготавливались из теста нормальной густоты и твердели при нормальных условиях (20°С, относительная влажность 100%) или при пропаривании при 80°С по режиму 3 часа + 6 часов + 3 часа.

Прочность испытывалась на 3 и 28 суток для образцов, твердевших в нормальных условиях (НУ), а для образцов прошедших тепловлажностную обработку (ТВО) сразу после пропаривания и спустя 28 суток хранения при НУ.

Таблица 1 – Средний диаметр 50% тонкой фракции измельчённого материала

Материал	ДГШ	Кварцевый песок	Природный волластонит	Топливный шлак	Корунд	Микро-кремнезём	Синтетический волластонит	Ранкинит	Тоберморит	Ксонотлит
Размер частиц	5,14	5,27	5,57	6,3	6,86	9,25	14,97	16,32	18,71	25,28

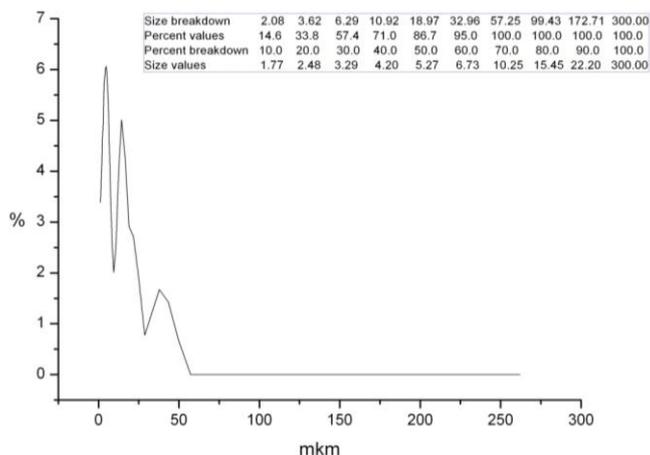


Рисунок 1 – Гранулометрический состав кварцевого песка

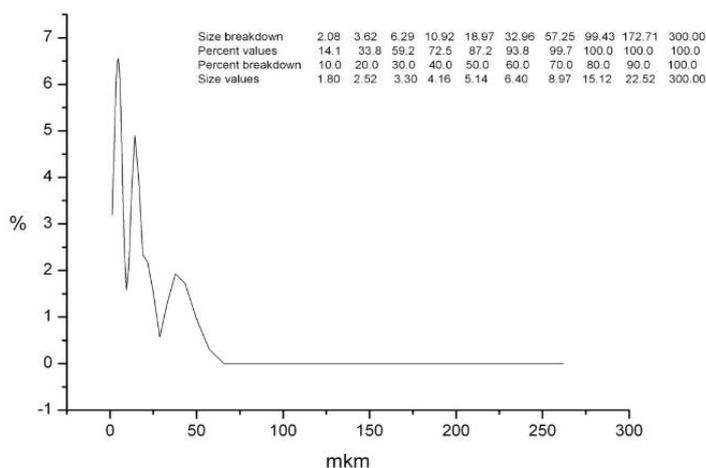


Рисунок 2 – Гранулометрический состав ДГШ

Вяжущее изготавливалось из портланд-цемента с заменой 1, 3, 5, 7, 10, 15, 20 и 30% тонкодисперсными минеральными добавками. Контролем являлся состав 100% ПЦ.

Изучив полученные гранулометрические составы, был сделан вывод, что наибольший размер частиц равен 275 мкм. Основная доля материала (90%) имеет размер не более 120,64 мкм у ксонотлита, не более 67,56 мкм у синтетического волластонита и не более 93,72 мкм у остальных материалов. Более 50% материала имеет размер 25,28 мкм у ксонотлита, 5,57 мкм у природного волластонита и не более 18,71 мкм у остальных материалов. Наибольший размер частиц у ксонотлита, наименьший – у синтетического волластонита.

Проанализировав полученные графики гранулометрии, были сделаны выводы, что наименьшими размерами частиц обладают материалы, которые не были синтезированы в ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 1-2014

лаборатории. Искусственные же материалы имеют большие размеры частиц из-за того, что они обладают контактно конденсационными свойствами, проявляющимися при помоле.

Приблизив размеры исследуемых материалов к размерам описанным в [1] нами был проверен эффект, при котором добавление минеральных добавок имеющих среднеобъёмный размер частиц в пределах 50 мкм должно повышать прочность цементного камня на 33% к 28 суткам нормального твердения. По итогам исследовательской работы были построены двумерные графики зависимостей прочности цементного камня от введённого в него количества минеральной добавки, а также зависимость прочности от размера вводимых в цемент добавок.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Прирост прочности через 28 суток твердения в НУ можно наблюдать при введении

ДГШ, топливного шлака, ранкинита и природного волластонита. Наибольший прирост достигается при введении 30% доменного гранулированного шлака, при этом прочность достигает 95 МПа при прочности контроля в 75 МПа (рисунок 3). При введении 1% природного волластонита прочность вырастает до 88 МПа, введение от 3 до 10% топливного шлака даёт прочность от 76,8 до 82,5 МПа, а 15% введенного ранкинита повышают прочность до 85,4 МПа. После ТВО и дальнейших 28 суток твердения в НУ вяжущее с этими добавками показывало прочность до 81-83 МПа.

Самую большую прочность после тепловлажностной обработки и последующего твердения 28 суток в НУ получили образцы с добавлением синтетического волластонита, тоберморита и ксонотлита (рисунки 4, 5). Анализируя графики зависимости прочности от размера вводимых в цемент добавок можно выделить несколько закономерностей.

Первое – это то, что при одинаковом содержании добавок, прочность цементов из-

меняется обратно пропорционально среднему диаметру их частиц (рисунки 5, 6).

Второе – это то, что наибольшую эффективность на свойства цемента оказывают добавки, имеющие в своей структуре элементы структуры С-S-H геля – основной фазы затвердевшего цементного камня, который включает в качестве основного элемента тройную кремне(алюмо)кислородную цепь на основе диортогруппы  $[Si_2O_7]$  и «мостикового» (Si, Al) – тетраэдра. Как видно по приведённым графикам, при добавлении ДГШ почти везде прочность выше, по сравнению с введением других добавок.

Анализируя совместно прочностные графики и графики зависимости прочности от размера вводимых в цемент добавок можно выделить ещё две зависимости. Как можно наблюдать по вышеприведенным графикам введение таких добавок, как кварцевый песок, корунд и микрокремнезём значительно снижают прочность исследуемых образцов, в то время, как образцы с топливным шлаком, синтетическим волластонитом и ранкинитом показывают высокую прочность.

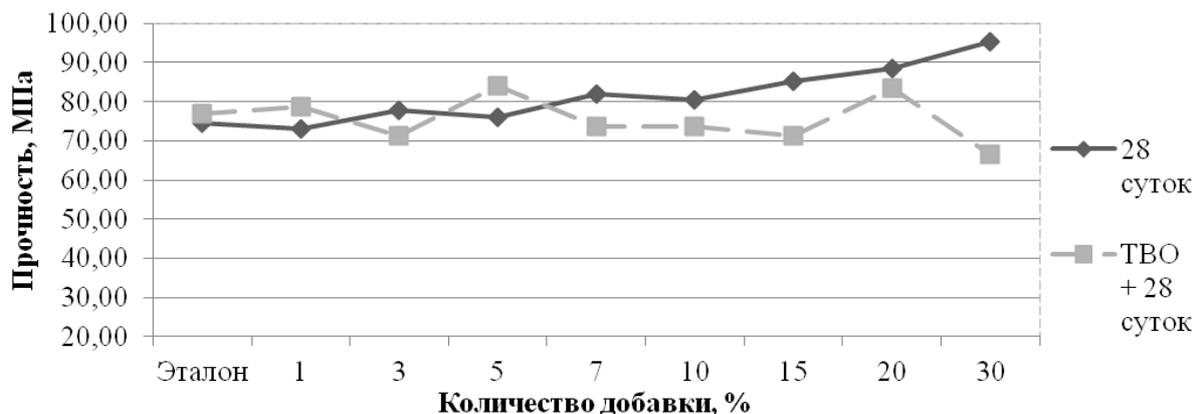


Рисунок 3 – Прочность цементного камня с добавлением ДГШ в поздние сроки

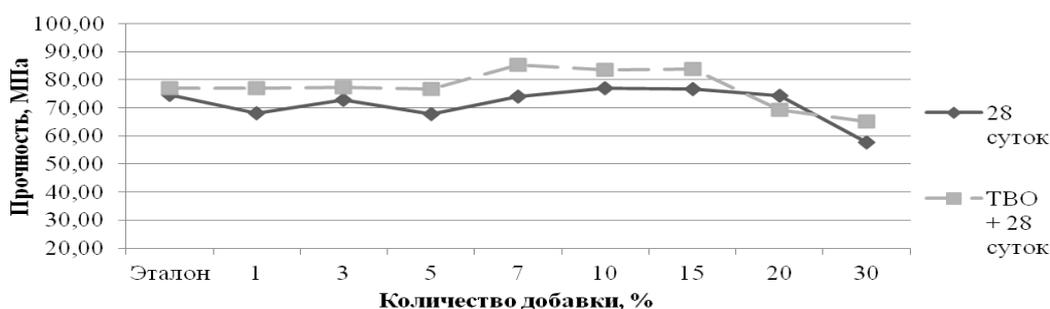
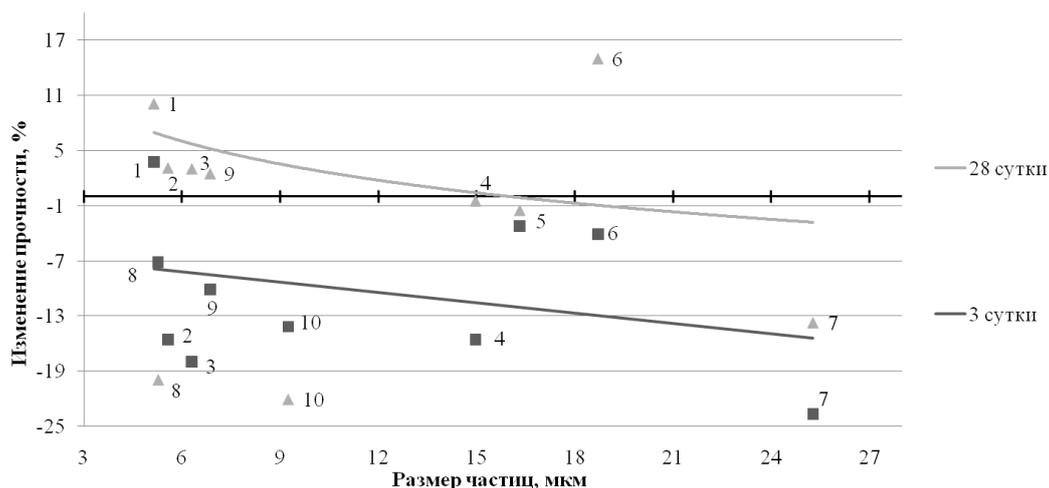
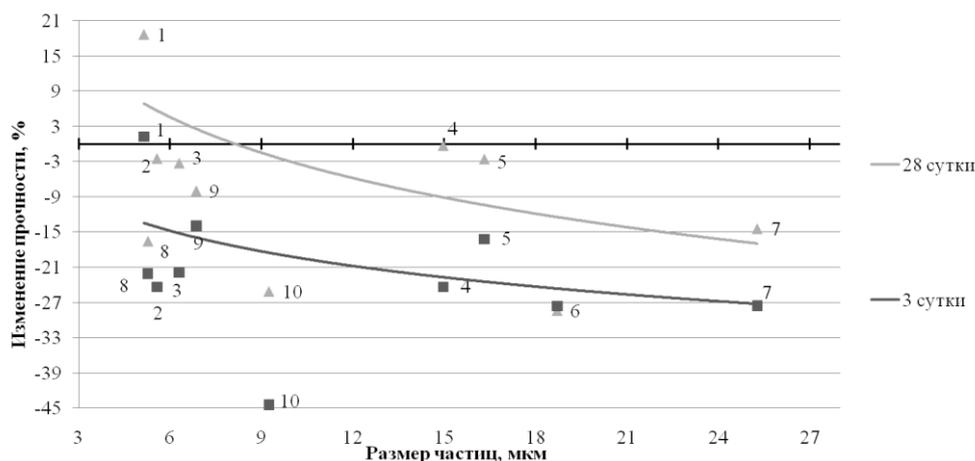


Рисунок 4 – Прочность цементного камня с добавлением синтетического волластонита в поздние сроки



1 – ДГШ; 2 – природный волластонит; 3 – топливный шлак; 4 – синтетический волластонит; 5 – ранкинит; 6 – тоберморит; 7 – ксонотлит; 8 – кварцевый песок; 9 – корунд; 10 – микрокремнезём

Рисунок 5 – Зависимость относительной прочности цементного камня после твердения в НУ от размера частиц добавок при их содержании 7%



1 – ДГШ; 2 – природный волластонит; 3 – топливный шлак; 4 – синтетический волластонит; 5 – ранкинит; 6 – тоберморит; 7 – ксонотлит; 8 – кварцевый песок; 9 – корунд; 10 – микрокремнезём

Рисунок 6 – Зависимость относительной прочности цементного камня после твердения в НУ от размера частиц добавок при их содержании 20%

Таким образом, третья закономерность может звучать так: высокодисперсные кремнеземы (молотый кварц, микрокремнезем) или корунд показывают более низкую прочность, не смотря на то, что в процессе гидратации связывают известь гидролизующихся клинкерных силикатов и образуют дополнительное количество геля С-А-С-Н.

На большинстве графиков эти добавки кучно располагаются в нижнем левом углу и показывают наименьшие результаты по прочности. На графиках они указаны под номерами 8, 9, 10.

И четвёртая закономерность заключается в том, что прочность выше у смешанных

цементов с добавками, содержащими в структуре диортогруппу  $[\text{Si}_2\text{O}_7]$  (шлаковые стекла, ранкинит), волластонитовую цепочку  $[\text{SiO}_3]$  (природный или синтетический волластониты), кремнекислородные ленты или слои, построенные путем трансляции диортогруппы  $[\text{Si}_2\text{O}_7]$ .

### ВЫВОДЫ

1. На основе анализа кристаллохимического строения кремне-кислородных анионов силикатов и гидросиликатов кальция, были выбраны для синтеза и исследования: 1) доменный и топливный высококальциевые шлаки, содержащие в стеклофазе 60-75% и

40-70% димера [Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>] соответственно и ранкинит, 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 [Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>]. Кроме этого для сравнения были выбраны активная пуццолана – пыль от производства ферросилиция – микрокремнезем, тонко молотые кварц и корунд.

2. Исследуемые добавки были подвержены сверхтонкому измельчению на планетарной мельнице типа АГО-3, при котором 50% самой тонкой фракции добавок имели средний размер около 5-6 мкм. Добавки гидросиликатов кальция не удалось тонко измельчить по причине проявления эффекта контактно-конденсационной литификации и они имели средний размер тонкой фракции 15-20 мкм.

3. Установлены главные закономерности изменения прочности рядового цемента ПЦ 400Д20 с исследуемыми добавками:

3.1 Как правило, прочность смешанных цементов падает с увеличением размера частиц минеральной добавки.

3.2 Явными лидерами в сохранении прочности с заменой цемента добавками являются: доменный (частично топливный) шлак, ранкинит, искусственный волластонит. Иногда – природный волластонит, тоберморит, ксонотлит.

3.3 Тонкомолотые кварц и корунд показывают низкие результаты по прочности, так же как и микрокремнезем.

4. Полученные данные подтверждают выдвинутую гипотезу об определяющей роли кристалло-химического строения кремнекислородного аниона добавок: содержание в структуре добавок диортогруппы [Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>] или фрагментов диортогруппы, а также волластонитовых цепочек, лент и слоев, в которых можно выделить [Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>] являются наиболее эффективными добавками, работающими по схеме шаблонирования (репликации, сборки) структуры геля С-S-H.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бердов Г.И., Ильина Л.В., Машкин Н.А. Влияние минеральных добавок на свойства цементных материалов // Современные наукоемкие технологии. – 2011, № 1. – С. 49-52.
2. Бердов, Г.И., Ильина Л.В. Влияние волластонита на прочность цементного камня из длительного хранившегося портландцемента // Строительные материалы: Научно-технический и производственный журнал. – 2011, № 1. – С. 48-49.

**Овчаренко Г.И.** – д.т.н., профессор, E-mail: egogo1980@mail.ru; **Песоцкий А.В.** – аспирант, E-mail: artemy\_vp@mail.ru, Алтайский государственный технический университет; **Аввакумов Е.Г.** – д.х.н., профессор, E-mail: avvakumov@solid.nsc.ru, Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН.

УДК 072.01

## ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ СОСТАВ АГРАРНЫХ ТОРГОВО-ВЫСТАВОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ

С.В. Пергаев

*В рамках данной статьи описывается специфика функционального состава АТБК и планировочные особенности взаимосвязи функциональных блоков, а также рассматривается процесс синергии основных функциональных блоков с сопутствующими.*

*Ключевые слова: функциональный состав АТБК, состав генерального плана АТБК, основные функционально-планировочные блоки АТБК, товарные группы АТБК, показатели площади застройки АТБК.*

В зависимости от функционального состава АТБК можно классифицировать на многофункциональные, узко специализированные и приспособленные. Многофункциональные АТБК содержат в составе не только «традиционные» для ТВК функции (выста-

вочная, торговая), но и складские, производственные, административные, научные и исследовательские функциональные блоки [1]. Примером многофункционального АТБК является Агропромпарк «Казань». Здесь помимо торговых и экспозиционных площа-