

**УДК 691**

**Редкозубов А.А.**, канд. техн. наук

### **ВЛИЯНИЕ АКТИВАЦИИ ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА СТРУКТУРУ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ**

**Аннотация.** Структура цементного бетона напрямую определяет многие его свойства. Управляя процессами структурообразования возможно получать цементные бетоны с повышенными показателями прочности и долговечности. В статье рассматривается влияние физико-химической активации поверхности кварцевого песка на структуру мелкозернистых цементных бетонов.

**Ключевые слова:** кварцевый песок, мелкозернистые цементные бетоны, структура цементного бетона, зона контакта, физико-химическая активация, оптическая и электронная микроскопия, пористость.

**УДК 691**

**Ridkozubov O.**, Cand. Eng. Sci. (Ph.D.)

### **INFLUENCE OF ACTIVATION OF THE FILLER ON THE STRUCTURE OF SHORT-GRAIN CEMENT CONCRETES**

**Abstract.** The structure of concrete directly determines many of its properties. By managing the processes of structure formation, it is possible to obtain concretes with increased strength and durability indexes. The article considers the influence of physical and chemical activation of quartz sand surface on the structure of fine-grained concretes.

**Keywords:** quartz sand, fine-grained concretes, concrete structure, contact area, physical and chemical activation, optical and electronic microscopy, air voids.

**УДК 691**

**Рідкозубов О.О.**, канд. техн. наук

### **ВПЛИВ АКТИВАЦІЇ ЗАПОВНЮВАЧА НА СТРУКТУРУ ДРІБНОЗЕРНИСТИХ ЦЕМЕНТНИХ БЕТОНІВ**

**Анотація.** Структура цементного бетону прямо визначає багато його властивостей. Управляючи процесами структуроутворення можливо одержувати цементні бетони з підвищеними показниками міцності й довговічності. У статті

розглядається вплив фізико-хімічної активації поверхні кварцового піску на структуру дрібнозернистих цементних бетонів.

**Ключові слова:** кварцовий пісок, дрібнозернисті цементні бетони, структура цементного бетону, зона контакту, фізико-хімічна активація, оптична й електронна мікроскопія, пористість.

### **Введение**

Кварцевые пески составляют основную часть объема и массы мелкозернистых цементных бетонов, следовательно, они должны оказывать огромное влияние на прочность и долговечность мелкозернистого бетона.

Влияние песков на прочность и долговечность мелкозернистых цементных бетонов, условно можно разделить на следующие составные части:

- воздействие песков на структуру бетонов;
- прочность самих зерен песка;
- сцепление поверхности зерен песка с цементным камнем;
- наличие в песке вредных примесей.

Прочность и долговечность цементных бетонов непосредственно зависит от плотности их структуры. Воздействие песков на структуру бетонов заключается в определенной раздвижке зерен песка цементным тестом. Существуют оптимальные средние величины просветов между зёрнами песка. При отклонении в обе стороны структура цементных бетонов ухудшается, и как следствие – прочность и долговечность бетонов снижается, т. е. при правильно подобранном составе мелкозернистых цементных бетонов возможно получить максимально плотную структуру, а следовательно, прочность и долговечность.

Прочность самих зерен песка вносит весомый вклад в общую прочность бетона. Природные кварцевые пески образовались из обломков прочных и плотных горных пород, поэтому прочность самих зерен песка (за редким исключением) практически однородна. Поэтому можно сделать вывод о том, что прочность и долговечность мелкозернистого цементного бетона зависит не столько от прочности заполнителя, сколько от плотности его структуры и прочности сцепления цементного камня с поверхностью кварцевых частиц.

В свою очередь сцепление песка с цементным камнем во многом зависит от минерального и петрографического состава зерен песка, характера их поверхности, взаимодействия поверхности зерен песка с новообразованиями гидратирующего цемента.

## **Основная часть**

Согласно современным представлениям о структуре цементных бетонов зона контакта между заполнителем и цементным камнем зачастую является самым слабым его звеном.

Плохое контактообразование цементного камня с поверхностью кварцевых песков можно объяснить рядом причин. Во-первых, неплотным прилеганием гидратирующего вяжущего к поверхности песка еще на этапе приготовления бетонной смеси. Во-вторых, плохим смачиванием, которое вызвано наличием на поверхности песка аморфизированных пленок, пылевато-глинистых частиц, гидроксидов железа, гуминовых остатков и др. В-третьих, плохим кристаллохимическим сродством между кварцем и цементным камнем [1].

В последнее время разработаны многочисленные способы увеличения плотности структуры мелкозернистых цементных бетонов за счет целенаправленного регулирования процессов, происходящих в зоне контакта между заполнителем и цементным камнем. Одним из эффективных способов является активация поверхности заполнителей растворами электролитов поливалентных металлов [2-4]. Активация заполнителей позволяет создавать такие условия, которые приводят к направленному структурообразованию и формированию прочной, водо- и морозостойкой кристаллизационной структуры цементных бетонов.

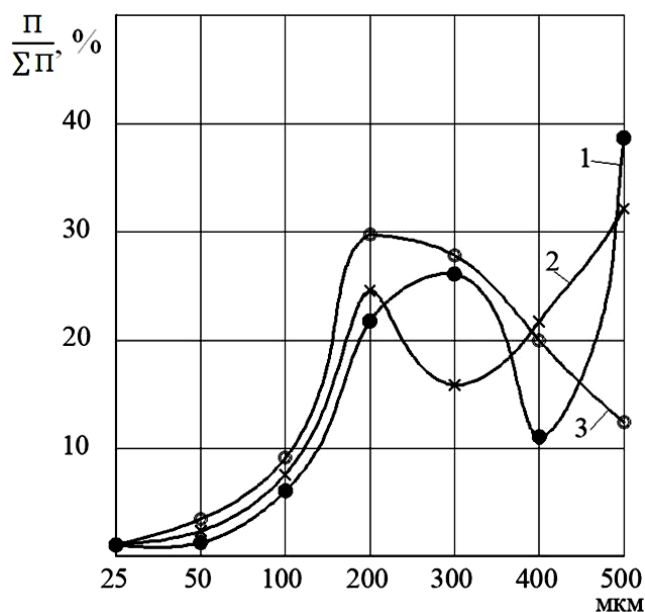
Особенности структуры мелкозернистых бетонов исследовались методами оптической и электронной микроскопии. Использование этих методов позволяет обеспечить достаточную полноту и достоверность полученных результатов.

Благодаря надежности и достоверности результатов, получаемых с помощью метода оптической микроскопии, возможна идентификация минерального состава заполнителей, наполнителей, вяжущих, продуктов гидратации и коррозии; изучение макро- и микроструктуры бетона, особенностей зоны контакта.

Физико-механические и эксплуатационные свойства цементных бетонов во многом зависят от его поровой структуры. Даже незначительные изменения характера и количества пор приводят к резкому изменению прочности и долговечности бетонов.

Дифференциальная пористость изучалась на прозрачных шлифах бетонов на 90 сутки нормального твердения. На основании полученных данных были

построены дифференциальные порограммы (рис. 1). Общая макропористость образцов мелкозернистых бетонов контрольного состава, твердевших в нормальных условиях, составила 7,10 %; образцов мелкозернистых бетонов на заполнителе, обработанном раствором хлорида алюминия – 6,88 %; образцов мелкозернистых бетонов на активированном заполнителе с добавкой пластификатора – 5,60 %.



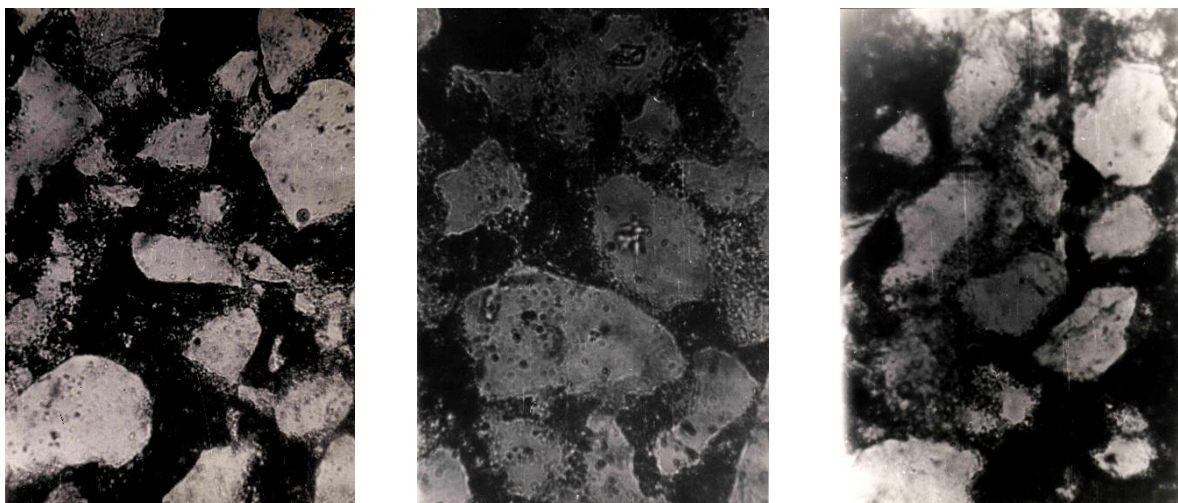
1 – контрольный состав; 2 – на активированном заполнителе; 3 – на активированном заполнителе с добавкой пластификатора

**Рисунок 1** – Дифференциальные порограммы мелкозернистых бетонов

Полученные данные свидетельствуют о том, что активация кварцевого песка снижает общую пористость, увеличивает содержание мелких пор в мелкозернистых бетонах. Активация песка с добавкой пластификатора уменьшает общую пористость бетона на 20 % (относительно контрольного состава) и создает более однородную структуру. При этом происходит значительное уменьшение крупных пор (400-500 мкм) и увеличение мелких (100-300 мкм).

На рисунке 2 представлены фотографии прозрачных шлифов мелкозернистых бетонов на 90 сутки нормального твердения.

Контрольные образцы, изготовленные на мелкозернистом песке с пылевато-глинистыми частицами имеют неоднородную макроструктуру, обусловленную неравномерным распределением зерен заполнителя и пылевато-глинистых примесей, а также дефектных участков в связующей массе бетона.



1 – контрольний состав; 2 – на активированном заполнителе; 3 – на активированном заполнителе с добавкой пластификатора

**Рисунок 2** – Микрофотографии прозрачных шлифов мелкозернистых бетонов на 90 сутки нормального твердения

Заполнитель представлен окатанными, угловато-окатанными и угловатыми зернами, преимущественно изометричной, реже удлиненной формы, размером от 1,5 до 420 мкм. Преобладает фракция 60-230 мкм. В минеральном отношении зерна сложены кварцем, редко встречаются обломки кислых плагиоклазов, глауконита, кварцита и слюд.

Связующая масса характеризуется очень неоднородной микроструктурой, сложенной неравномерно распределенными участками (в порядке убывания) бурого непрозрачного геля, скрытокристаллических и кристаллических образований. Кристаллические образования двух типов – мелкокристаллические и крупнокристаллические. Первые сложены высокоосновными гидросиликатами и вторичным кальцитом, вторые – портландитом. Все кристаллические образования преимущественно располагаются в околопоровом пространстве (портландит), в зоне контакта с заполнителем (локально) и редко заполняют полость мелких пор (портландит). Ширина межзерновых участков 5-300 мкм (чаще до 120 мкм).

Зона контакта неплотная или разрыхлена за счет примазок и налетов глинистых агрегатов или гидроксидов железа, а также мелкокристаллических образований (редко кристаллических) расположенных локально. Преобладают скрытокристаллические образования, реже мелкокристаллические (сложенные вторичным кальцитом в околопоровых зонах). Редко контакт связующий массы с заполнителем ослаблен наличием вытянутых вдоль границы полостей или пор.

Пористость преимущественно замкнутая. Степень гидратации 22-29 %.

Образцы мелкозернистого бетона на активированном заполнителе имеют преимущественно неоднородную макроструктуру.

Связующая масса сложена теми же разновидностями гидратов, что и контрольные образцы, однако доля кристаллических (крупнокристаллических) и скрытокристаллических образований несколько уменьшается за счет увеличения количества непрозрачного геля.

Зона контакта значительно уплотнена. Ширина межзерновых участков 3-330 мкм (чаще до 100 мкм). Доля крупнокристаллических образований в зоне контакта существенно сокращается по сравнению с контрольным составом.

Пористость замкнутая, сферичная. Степень гидратации 25-32 %.

Образцы мелкозернистого бетона на активированном заполнителе с добавкой пластификатора имеют сравнительно однородную макроструктуру.

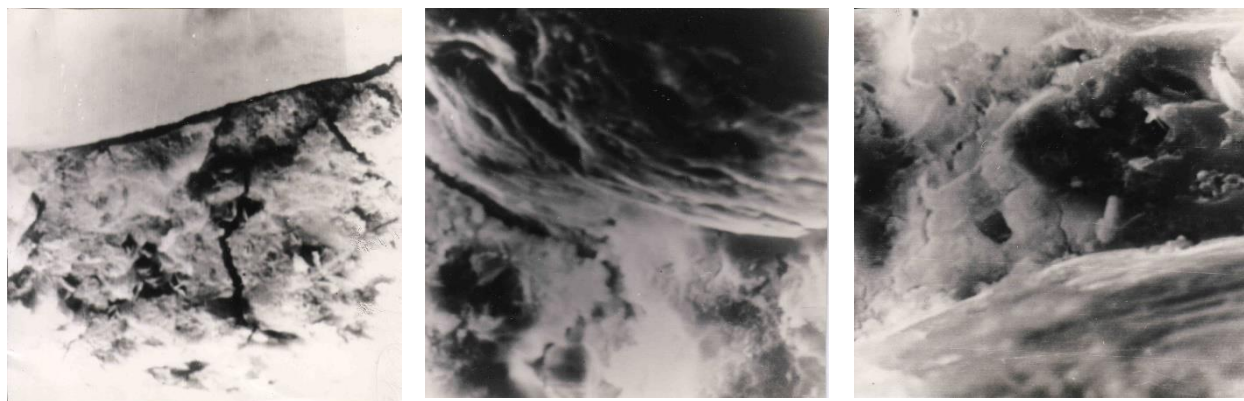
Связующая масса представлена в основном непрозрачным гелем и в меньшей степени, скрытокристаллическими гидратами, которые распределены равномерно. Ширина межзерновых участков 2-180 мкм (обычно до 75 мкм).

Зона контакта уплотнена, контакт плотный. Гидраты представлены преимущественно гелеобразными и скрытокристаллическими образованиями. Кристаллические (обычно мелкокристаллические) образования крайне редки.

Пористость замкнутая. Мелкие поры (до 35 мкм) часто кольматированы кристаллическим  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Степень гидратации – 29-36 %.

Таким образом, в бетонах на неактивированном заполнителе зона контакта разрыхлена, сцепление гидратов с поверхностью заполнителя нарушено микротрещинами. После активации заполнителя микроструктура гидратов несколько уплотняется, формируется плотное сцепление их с заполнителем, граница приобретает расплывчатый характер. Введение пластификатора усиливает эффект, значительно возрастает степень гидратации.

Электронномикроскопические исследования микроструктуры мелкозернистых бетонов на 28 сутки нормального твердения показали (рис. 3), что у контрольных образцов зона контакта значительно ослаблена за счет отслаивания цементного камня.



1 – контрольний состав; 2 – на активированном заполнителе; 3 – на активированном заполнителе с добавкой пластификатора

**Рисунок 3** – Электронные микрофотографии скола образцов мелкозернистых бетонов на 28 сутки нормального твердения

Цементный камень представлен крупной блочно-ритмической системой новообразований, имеются трещины, направленные перпендикулярно к поверхности кварцевого песка.

Образцы на активированном заполнителе имеют довольно плотную зону контакта, отслоения цементного камня незначительны. Цементный камень характеризуется уменьшением размеров блоков новообразований, трещины проходят в теле цементного камня и до поверхности песка не доходят.

Образцы на активированном заполнителе с добавкой пластификатора обладают лучшей структурой как зоны контакта, так и всего объема. Зона контакта плотная, без отслоений и трещин. Цементный камень имеет тонковолокнистую микроструктуру.

Проводились также исследования на «мытом песке», т.е. на песке, из которого предварительно удалялись пылевато-глинистые частицы методом отмучивания в дистиллированной воде. Установлено, что отмывка заполнителя незначительно улучшает зону контакта, однако гидратация несколько уменьшается (относительно контрольного). Активация мытого заполнителя значительно уплотняет зону контакта, фактически не изменяя степень гидратации, т.е. образуется цементный бетон с прочной зоной контакта и ослабленными прослойками вяжущего.

### Выводы

Проведены комплексные исследования структуры мелкозернистых цементных бетонов. Прямыми методами оптической и электронной микроскопии установлено, что активация мытого кварцевого песка уплотняет

зону контакта, но не изменяет степень гидратации вяжущего, т.е. получается цементный бетон с прочной зоной контакта, но непрочными прослойками цементного камня. Наличие пылеватых примесей способствует более оптимальной упаковке частиц, а введение в бетонную смесь пластификатора повышает степень гидратации вяжущего, обеспечивает и плотную зону контакта цементных гидратов с поверхностью заполнителя и плотную однородную малодефектную структуру всего мелкозернистого бетона.

### **Литература**

1. Ольгинский А. Г. Оценка и регулирование структуры зоны контакта цементного камня с минеральными заполнителями. Автореферат дис. докт. техн. наук: 05.23.05. – Харьков, 1994. – 23 с.

2. Мельник Ю. М. Активация структурообразования в контактной зоне тяжелого цементного бетона растворами солей с целью улучшения его свойств. Автореферат дис. канд. техн. наук: 05.23.05. – Харьков, 1984. – 19 с.

3. Фоменко Е. А., Ольгинский А. Г. Активация каменных материалов при их укреплении вяжущими в композиционных слоях дорожной // Вестник ХНАДУ. – 2005. – № 30. – С. 11-13.

4. Бусел А. В., Киселев В. В., Чистова Т. А. Активация крупного заполнителя – резерв экономии цемента и повышения прочности тяжелого бетона // Технология бетонов. – 2010. – № 11-12. – С. 31-33.

#### **Рецензенти:**

Мішутін А.В., д-р техн. наук, Одеська державна академія будівництва і архітектури.  
Солодкий С.Й., д-р техн. наук, НУ "Львівська політехніка".

#### **Reviewers:**

Mishutin A.V., Dr. Tech. Sci., Odessa State Academy of Construction and Architecture.  
Solodkyi S.Yo., Dr. Tech. Sci., NU "Lviv Polytechnic".

Стаття надійшла до редакції: **14.06.2017 р.**