

СТРУКТУРНЫЕ ФАКТОРЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЧНОСТЬЮ ВЫСОКОПРОЧНОГО МОНОЛИТНОГО БЕТОНА

Василовская Н. Г., Енджиевская И. Г., Дружинкин С. В., Зубенко В. А., Зырянов Е. В.

ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, Россия (660041, Красноярск, пр. Свободный, 82), e-mail:vasng@mail.ru

Проведены исследования возможности получения высокопрочного монолитного бетона на основе традиционных сырьевых материалов. Рассмотрены пути управления структурой высокопрочного монолитного бетона, которая зависит от совместной работы двух принципиальных компонентов цементного камня и заполнителя, объемного соотношения структурных элементов в материале, а также введения в материал дополнительных элементов, способных тормозить развитие и распространение трещин. Показано эффективное действие микрокремнезема в комплексе с суперпластификатором. При гидратации цемента в присутствии подобных комплексных модификаторов образуются коллоидные частицы наноразмеров и гелеподобные тонкие слои на поверхности цементных зерен. Сохранение подобных структур в затвердевшем бетоне способствует повышению его качеств.

Ключевые слова: высокопрочный монолитный бетон, структурообразование, модификаторы, суперпластификаторы, гидросиликаты кальция, кристаллизация.

THE STRUCTURAL FACTORS OF MANAGEMENT OF STRENGTH OF HIGH-STRENGTH MASS CONCRETE

Vasilovskaya N. G., Endjievskaya I. G., Druzhinkin S. V., Zubenko V. A., Zyryanov E. V.

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia (660041, Krasnoyarsk, Svobodny Avenue, 82), e-mail:vasng@mail.ru

A research of getting high-strength mass concrete on the base of traditional raw resources has been carried out. The ways of high-strength mass concrete structure management had been overviewed, which depends on mutual work of two principal components - cement stone and filler, volume correlation or structural elements in the material, and also of introduction of additional elements into the material, capable to impede development and crack propagation. It has been demonstrated the effective action of the silica fume together with the superplasticizer. At cement hydration with a similar complex modifiers to have formed colloidal particles were nanosize and gel thin layers on the surface of cement grains. Preservation of similar structures in the hardened concrete promotes concrete improvement of quality.

Key words: high-strength mass concrete, structure formation, modifiers, super plasticizer, hydrous calcium, crystallization.

Получение бетонов с высокими прочностными показателями в марочном возрасте на высокоподвижных бетонных смесях, с обеспечением сохранности свойств во времени, отсутствием расслаиваемости и интенсивной кинетикой набора прочности бетона в ранние сроки твердения, является актуальной проблемой при возведении технически сложных и уникальных объектов.

Эффективность работы конструкций при эксплуатации определяется созданием и получением материалов не только с более высокой прочностью, но и с меньшей хрупкостью, то есть с более высоким сопротивлением развитию и распространения трещин.

Прочностные и деформативные свойства высокопрочного бетона зависят от совместной работы двух принципиальных компонентов – цементного камня и заполнителя, а также их взаимодействия, что дает возможность управлять свойствами путем отбора

соответствующей породы щебня. В качестве заполнителя применяли отходы после отсева щебня ДСУ Кияшалтырского месторождения, крупные фракции которого применяются для отсыпки железнодорожных путей. Отсевы – фракции менее 25 мм накоплены в значительных количествах на территории месторождения. Определялась дробимость кияшалтырского щебня в цилиндре, потеря массы составила 4 %, что соответствует марке по дробимости 1400.

Результаты рентгенофазового испытания заполнителя Кияшалтырского месторождения приведены на рис. 1. Установлено, что исследуемые пробы представлены в основном диопсидом, с твёрдостью по шкале Мооса – 5,5–6, плотностью – 3000–3200 кг/м³.

Помимо диопсида (пики 4,46; 2,98; 2,89; 2,56; 2,52; 2,30; 2,15; 2,129; 2,034; 2,01; 1,83; 1,74; 1,61; 1,52) порода содержит свободный кварц (пик 3,36), каолинит (пик 7.153) и полевои шпат (пики 4.04; 3,74).

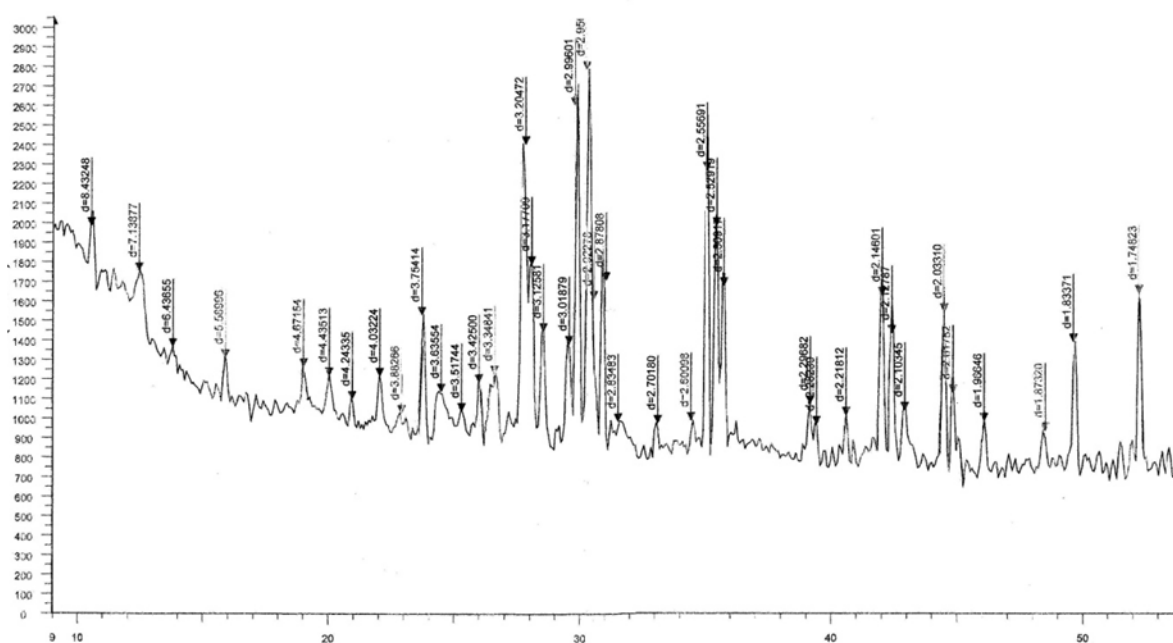


Рисунок 1. Рентгенофазовый анализ заполнителя Кияшалтырского месторождения

Полученная первоначальная структура бетона постепенно уплотняется за счет новообразований цемента в процессе его гидратации и соответственно возрастает прочность бетона. Однако если первоначальная структура имеет много дефектов и недостатков, то никаким последующим твердением их невозможно исправить. Поэтому для высокопрочных бетонов необходимо, чтобы она была достаточно плотной, тонкозернистой с максимальным насыщением твердой фазой и отсутствием заметных дефектов.

Данная проблема решается в нескольких направлениях:

- однородность размещения структурных элементов в объеме материала;

- объемным соотношением основных структурных элементов в материале (зерен заполнителя и наполнителя, цементирующего вещества, пор);
- размером и распределением по размерам структурных элементов (зерен заполнителя, микронаполнителя, микро и макропор);
- получение низкой пористости и высокой плотности бетона;
- обеспечение быстрых темпов набора ранней прочности и высокой нормативной прочности бетона.

Существуют несколько основных принципов и условий ускорения структурообразования и, как следствие, ускорения твердения цементных композиций. Один из которых – обеспечение высокой степени пересыщения раствора продуктами растворения клинкерных минералов по отношению к кристаллизующимся из него кристаллогидратам и поддержание этого высокого пересыщения на весь период гидратации цемента по кристаллизационному механизму, до образования вокруг цементных зерен экранирующих оболочек.

Данные требования достигаются следующими методами: использование высокопрочных портландцементов (при разработке составов высокопрочных монолитных бетонов использовался красноярский портландцемент ПЦ 500 Д0, более высоких марок Красноярским цементным заводом не выпускается), снижение В/Ц за счет применения водоредуцирующих добавок, применение добавок крентов и др.

Наиболее эффективно для этих целей применение в высокопрочных бетонах не отдельных модификаторов, а специально подобранных комплексов в зависимости от назначения бетона и предъявляемых к нему требований. Обязательным компонентом комплексов обычно является суперпластификатор, который должен хорошо сочетаться с наполнителем более высокой дисперсности, чем у цемента; для обеспечения высокой реакционной способности с продуктами гидратации цемента и создания центров кристаллизации вводятся наноэлементы, улучшающие межфазовое взаимодействие, и упрочняющие контактную зону; модификаторы, управляющие структурообразованием, в частности, кинетикой схватывания и твердения, расширяющие и волокнистые добавки, и др. Состав комплекса должен соответствовать выбранной технологии и заданным свойствам бетона.

Для монолитного бетона строение молекулы суперпластификатора должно обеспечить замедление схватывания и ускорение набора прочности после укладки. В результате после первоначального замедления гидратации и образования коагуляционной структуры наступает ускорение твердения бетона.

Большие возможности управления структурообразованием бетона открывает применение пластификаторов на основе поликарбоксилатов, для чего в работе использовался суперпластификатор (СП) MC-PowerFlow 1124.

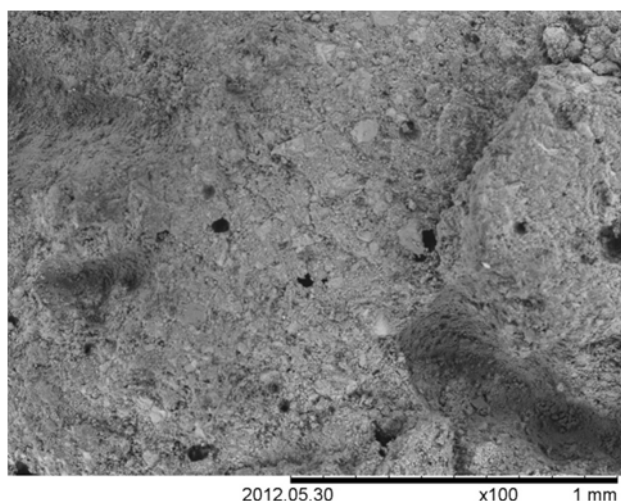
Поликарбоксилаты обеспечивают весьма высокую сохраняемость бетонной смеси, что также делает их весьма привлекательными для монолитного строительства и при продолжительном транспортировании бетонной смеси.

Уменьшение водопотребности бетонной смеси и В/Ц определяется электрическими зарядами и вращающимися боковыми цепями молекулы поликарбоксилатного СП; сохраняемость, связанная со скоростью адсорбции полимеров на частицах цемента, – функциональными мономерами, а развитие ранней прочности бетона – формой (конфигурацией) полимерной молекулы в целом, которая имеет главную цепочку с отрицательными зарядами, адсорбирующуюся к цементной частице, и незаряженные побочные цепочки.

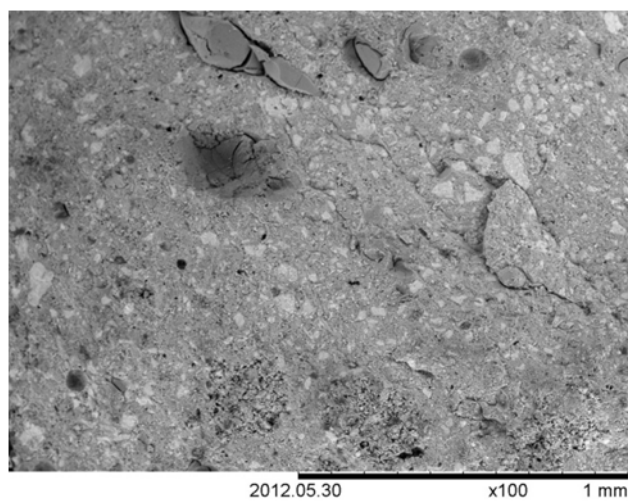
Другой особенностью проектирования состава высокопрочного монолитного бетона с поликарбоксилатами является необходимость увеличения доли песка в смеси заполнителей. Установлено, что поликарбоксилаты эффективны в запесчанном бетоне, что также является положительным фактором, поскольку для перекачивания насосами бетонная смесь проектировалась с повышенным содержанием песка (табл. 1).

Известно, что зона контакта между заполнителем и цементным камнем – слабый элемент структуры бетона. Однако введение в бетон микрокремнезема и наночастиц уплотняет зону контакта и повышает прочность. В работе использовался Новокузнецкий гранулированный микрокремнезем (МК) из ультрадисперсного порошка МК со средней удельной поверхностью около $20 \text{ м}^2/\text{г}$. Структура цементного камня с добавкой МК и без нее приведена на рис. 3.

Особенно эффективно действие микрокремнезема в комплексе с суперпластификаторами. При гидратации цемента в присутствии подобных комплексных модификаторов образуются коллоидные частицы наноразмеров и гелеподобные тонкие слои на поверхности цементных зерен. Сохранение подобных структур в затвердевшем бетоне способствует повышению его качества.



А

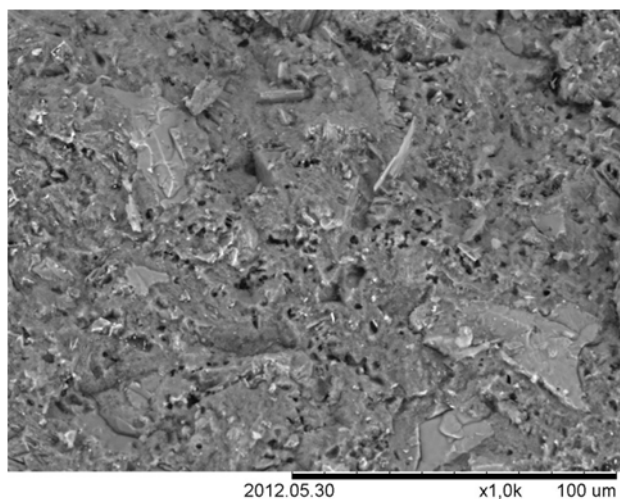


Б

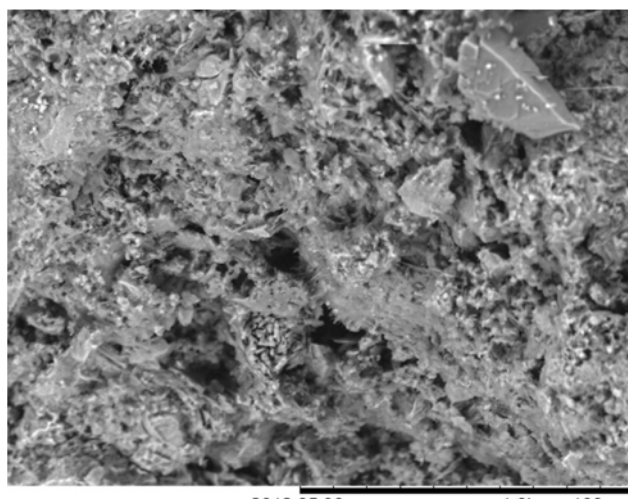
Рисунок 3. Структура цементного камня с увеличением в 100 раз: а – цементный камень в возрасте 28 сут; б – цементный камень с добавкой МК (10%) в возрасте 28 сут

В цементном камне без добавок структура достаточно рыхлая, с большим количеством контракционных пор размерами до 0,05 мм, цементный камень с МК более плотный, поры значительно мельче, соответственно более высокая морозостойкость (300 циклов без признаков разрушения, испытания продолжаются).

При увеличении тех же образцов в 1000 раз (рис. 4) наблюдается большое количество микропор между образованиями. Сами новообразования представлены в основном крупными высокоосновными гидросиликатами (размеры которых составляют 10–15 мкм) и крупными пластинками эттрингита.



а



б

Рисунок 4. Структура цементного камня с увеличением в 1000 раз: а – цементный камень с добавкой МК (10 %) в возрасте 28 сут; б – цементный камень в возрасте 28 сут

В цементном камне с добавкой МК структура представлена в основном низкоосновными гидросиликатами кальция (размеры частиц около 0,1 мкм). Наблюдаются в

том числе и непрореагировавшие зерна МК, способные вступить в реакцию с образованием низкоосновных гидросиликатов кальция, таким образом, рост прочности бетона продолжится.

В составе комплексных модификаторов также исследовался продукт нидерландской компании «PowerCem technologies» – добавка ConcreCem, содержащая в своем составе щелочноземельные металлы и синтетические цеолиты, дополненные активатором. Являясь хорошей добавкой-затравкой, ConcreCem образует кристаллическую структуру, которая способна частично закупоривать капиллярные поры. Также благодаря ее волокнистой структуре предотвращается процесс образования микротрещин (рис. 5).

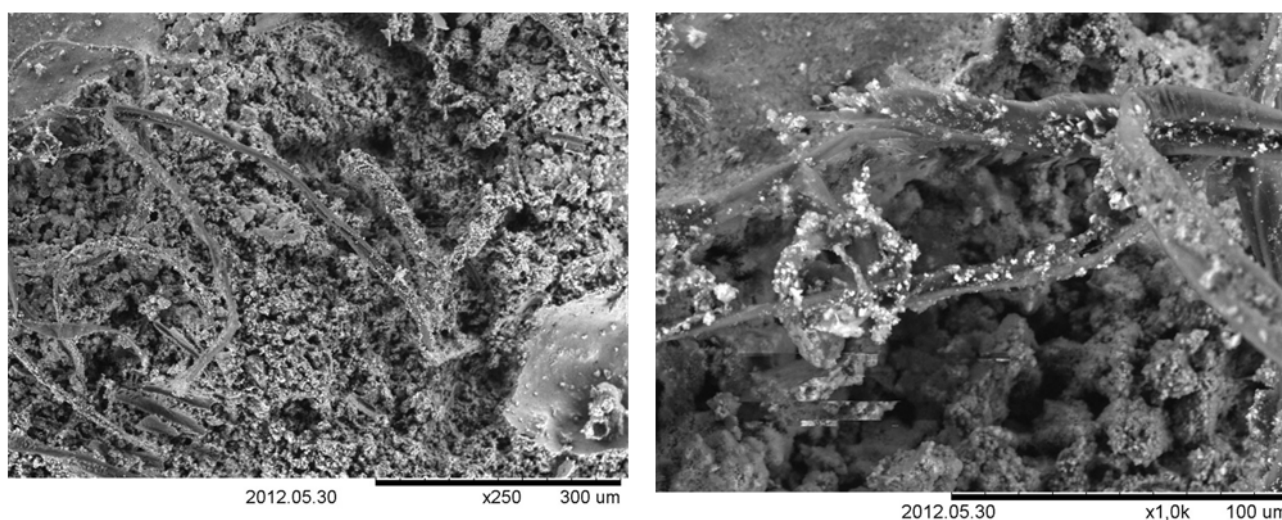


Рисунок 5. Гидратирующая цементная система с добавкой Конкресет в возрасте 5 часов с увеличением в 250 и 1000 раз

Наличие микроармирующих образований (диаметр армирующего волокна 1–5 мкм) упрочняет систему, в дополнение к процессам «склеивания», происходящим при гидратации цемента, дополнительно проявляется механизм «сплетения», армирования на микроуровне.

Исследовалось влияние увеличения доли песка в составе бетона (табл. 1) с использованием комплексной добавки, включающей в себя пластификатор MC-PowerFlow 1124, а также изменение количества вяжущего (табл. 2).

Таблица 1. Влияние увеличения расхода мелкого заполнителя на прочность бетонных образцов

Расход заполнителя, кг/м ³	Составы	В/Ц	ОК	Прочность при сжатии на 28 сутки, МПа
319	Контрольный	0,33	4	55,3
	С МК и СП	0,27	20	68, 7
	С ConcreCem и СП	0,30	18	98,4

470	Контрольный	0,30	4	67,6
	С МК и СП	0,27	20	85,5
	С ConcreCem и СП	0,30	18	115,0

Таблица 2. Влияние уменьшения расхода цемента на прочность бетонных образцов

Расход цемента, кг/м ³	Составы	В/Ц	ОК	Прочность при сжатии на 28 сутки, МПа
530	Контрольный	0,33	4	55,3
	С МК и СП	0,27	20	85, 7
	С ConcreCem и СП	0,3	18	115
477	Контрольный	0,3	4	52,86
	С МК и СП	0,27	20	65,58
	С ConcreCem и СП	0,3	18	85

Использование комплексных добавок СП на основе поликарбоксилатов с супертонким наполнителем либо со сложным модификатором-затравкой позволяет управлять структурой высокопрочных бетонов, уплотняет цементную оболочку вокруг зерен прочного заполнителя (рис. 8). Такие комплексы соответствуют технологии монолитного бетонирования и позволяют обеспечивать заданные свойства бетону.

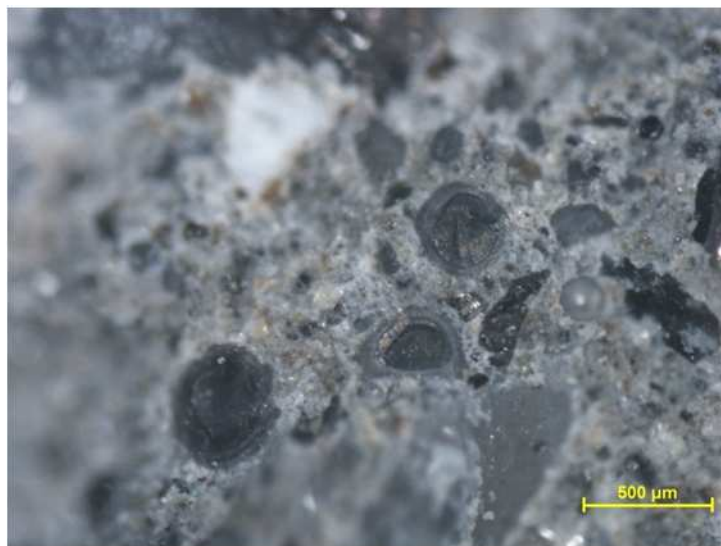


Рисунок 8. Образец модифицированного бетона, излом под оптическим микроскопом

С увеличением плотности цементной оболочки вокруг зерен заполнителей и прочности сцепления с ними проявляется объемная повышенная сопротивляемость, также приводящая к улучшению физико-механических характеристик. Этим явлением возможно объяснить получение прочности бетона, превышающей марку цемента, приближающуюся к прочности заполнителей.

Список литературы

1. Баженов Ю. М. Технология бетона: учебник / Ю. М. Баженов. – М.: АСВ, 2007. – 526 с.
2. Гиллер Я. Л. Таблицы межплоскостных расстояний. – М.: Недра, 1966. – 180 с.
3. Горшков В. С., Тимашев В. В., Савельев В. Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. – М.: Высшая школа, 1982. – 335 с.
4. Диссертационные исследования научной школы академика Е. М. Чернышова // Научный вестник ВГАСУ. – Воронеж, 2008. – С. 385.
5. Дьяченко Е. И. Структурные факторы управления вязкостью разрушения и прочностью силикатных автоклавных материалов. – С. 136.
6. Ковба Л. М, Трупов В. К. Рентгенофазовый анализ. – М.: Изд-во МГУ, 1976. – 868 с.
7. Рекомендации по применению добавок суперпластификаторов в производстве сборного и монолитного железобетона НИИЖБ, ЦНИИОМТП. – М., 1987.

Рецензенты:

Толкачев В. Я., доктор технических наук, советник академии СО РИА, главный технолог кирпичного завода ООО «Сибирский элемент» г. Красноярск.

Бурученко А. Е., доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой физики-4 института фундаментальной подготовки Сибирского федерального университета, г. Красноярск.