Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies 6 (2011 4) 704-710
~ ~ ~

УДК 666.969.1.3

Бетонная смесь, модифицированная аэросилом и тетраэтоксисиланом

А.И. Христофоров,
И.А. Христофорова, О.Л. Еропов*
Владимирский государственный университет
им. А. Г. и Н. Г. Столетовых,
Россия 600000, Владимир, ул. Горького, 87 [1]

Received 2.12.2011, received in revised form 9.12.2011, accepted 16.12.2011

Расширение, развитие и совершенствование строительного производства требует совершенствования строительных материалов. Одним из наиболее распространенных материалов является бетон. Модификация бетонов ПАВ и органическими веществами получает все большее развитие и приводит к повышению прочности бетона при сжатии до 80 % и увеличению подвижности бетонной смеси до 5 %.

Ключевые слова: бетон, модификация, органические вещества, ПАВ.

Расширение, развитие и совершенствование строительного производства невозможно без разработки новых и модификации надежных и зарекомендовавших себя строительных материалов. В многоэтажном строительстве широко применяется бетон, обладающей высокой прочностью при сжатии, низкой пористостью и водопоглощением, высокой морозо- и пожаростойкостью и др. Совершенствование основных физико-механических характеристик бетона – основная задача, стоящая перед учеными. С развитием науки все острее стоит вопрос о создании высокоэффективных добавок, позволяющих эффективнее использовать основной компонент бетона – цемент. Уменьшение цемента в бетонной смеси с сохранением или повышением физико-механических характеристик ведет к понижению стоимости бетона, экономии средств на возведение зданий и к понижению стоимости строительства.

Наиболее востребованные и значимые показатели бетонной смеси – прочность при сжатии и подвижность бетонной смеси. Введение в бетонную смесь малого количества добавок, позволяющих повысить прочность бетона при сжатии в 1,2-1,8 раза, является основной задачей. Такими добавками могут служить наночастицы, служащие наноструктурирующим элементом бетона и вещества, влияющие на подвижность бетонной смеси.

На данный момент известны добавки, позволяющие повысить прочность бетона, только они практически не применяются в строительстве по причине высокой стоимости или малоизученности. Рассмотрим влияние оксида кремния и тетраэтоксисилана на прочность при сжатии бетона и подвижность бетонной смеси. Данные добавки будем вводить в воду в малом количе-

* Corresponding author E-mail address: olegint@list.ru
[1] © Siberian Federal University. All rights reserved

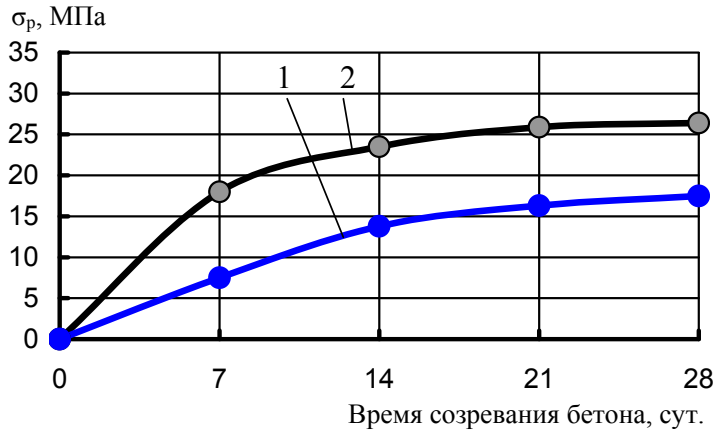

Рис. 1. Зависимость прочности мелкозернистого бетона от времени созревания и состава смеси: 1 – песок фракции < 0,63 – 300 мас.ч., цемент – 100 мас. ч., вода – 70 мас.ч.; 2 – песок фракции < 0,63 – 300 мас.ч., цемент – 100 мас. ч., вода – 70 мас.ч., оксид кремния – 0,015 мас.ч.

стве. Проверка прочности бетона при сжатии выполнялась в соответствии с ГОСТ 10180-90 [1], подвижность бетонной смеси выполнялась в соответствии с ГОСТ 10181-2000 [2].

Основные компоненты бетонной смеси:

- мордовский цемент М500 Д0 по ГОСТ 31108-2003 [3];

- карьерный кварцевый песок Улыбышевского месторождения Владимирской области дисперсностью меньше 0,63 мм;

- вода по ГОСТ 23732-93 [4].

Образцы составов бетонных смесей:

1. Контрольный образец.

2. Образец с добавкой оксида кремния.

3. Образец с добавкой оксида кремния и тетраэтоксисилана.

Оксид кремния (SiO2) [5] – очень чистый аморфный чрезвычайно легкий белый порошок с выраженными адсорбционными свойствами, размер частиц от 5 до 40 нм; в тонком слое кажется полупрозрачным, голубоватым. Оксид кремния пожаро- и взрывобезопасен, не токсичен.

Тетраэтоксисилан (ТЭОС) [6] – прозрачная жидкость со слабым эфирным запахом, растворяется в инертных органических растворителях, реагирует с водой, высшими спиртами. Обоснованием выбора тетраэтоксисилана послужило то, что в результате гидролиза тетраэтоксисилан выделяет этанол и наноразмерные частицы оксида кремния. Эти частицы оксида кремния служат центром структурообразования при формировании цементного камня.

Взаимодействие оксида кремния с бетонной смесью было проверено рядом опытов. В качестве образцов были взяты следующие составы бетонных смесей.

Образец 1: цемент – 100 мас.ч., песок – 300 мас.ч., вода – 65 мас.ч.; имеет прочность при сжатии через 28 сут – 17,5 МПа, подвижность бетонной смеси – 7 см (рис. 1).

Ввиду того, что бетон имеет частично аморфную структуру, количественный фазовый анализ образцов выполнить не удалось. Рентгенограмма минерального состава, позволяющая оценить качественный состав бетона образца 1, представлена на рис. 2.

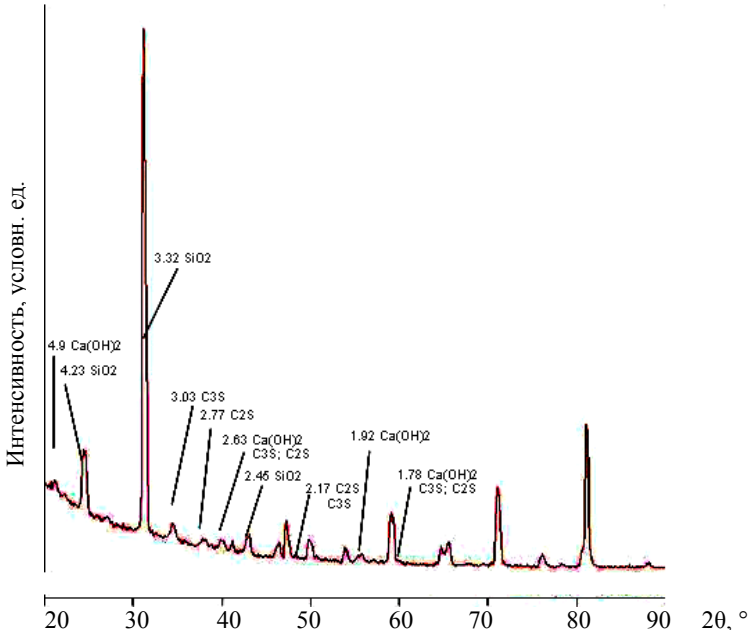

Рис. 2. Рентгенограмма минерального состава контрольного образца бетона: 1 – $Ca(OH)_2$ – гидроксид кальция; 2 – SiO_2 – оксид кремния; 3 – C_3S – алит (трехкальциевый силикат); 4 – C_2S – белит (двухкальциевый силикат)

Присутствие гидроксида кальция указывает на прохождение реакции гидротации алита с водой. Из представленной рентгенограммы видна незначительная активность кристаллов алита (C_3S) и белита (C_2S). Это свидетельствует о прошедшей реакции гидратации во время образования бетонного камня:

$$3CaO \cdot SiO_2 + 5H_2O = 2CaO \cdot SiO_2 \cdot 4H_2O + Ca(OH)_2;$$

$$2CaO \cdot SiO_2 + 4H_2O = 2CaO \cdot SiO_2 \cdot 4H_2O.$$

Значительная интенсивность дифракционного отражения SiO_2 обусловлена большим содержанием песка в бетонной композиции – 3 части песка на 1 часть цемента.

Образец 2: в смесь песка – 300 мас.ч. и цемента – 100 мас.ч. вводилась вода с добавкой, подготовленная следующим образом: вода – 70 мас.ч., оксид кремния – 0,015 мас.ч. перемешанные мешалкой в течение 15 мин. Полученная бетонная смесь имела осадку конуса 8 см. Прочность бетона при сжатии через 28 сут составляет 26,4 МПа. Изменение прочности бетона со временем представлено на рис. 1.

Рентгенограмма минерального состава бетона с добавкой оксида кремния (рис. 3) показывает качественный состав основных минералов бетонной смеси. Из приведенной рентгенограммы видно, что интенсивность дифракционного отражения от кристаллов алита и белита в бетоне незначительная, что указывает на прохождение реакции гидротации. Наблюдается значительная интенсивность дифракционного отражения от кристаллов гидроксида кальция, образовавшегося в процессе гидратации алита с водой. Интенсивность оксида кремния обусловлена значительным количеством вводимого песка в композицию.

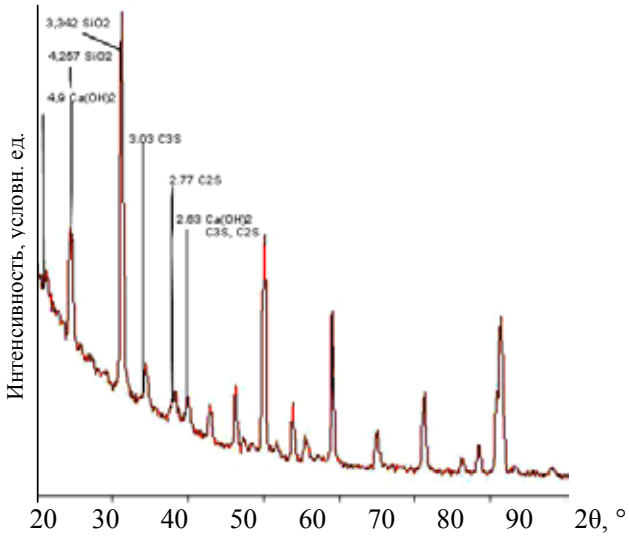

Рис. 3. Рентгенограмма минерального состава бетона с добавкой оксида кремния. 1 – $Ca(OH)_2$ – гидроксид кальция; 2 – SiO_2 – оксид кремния; 3 – C_3S – алит; 4. C_2S – белит

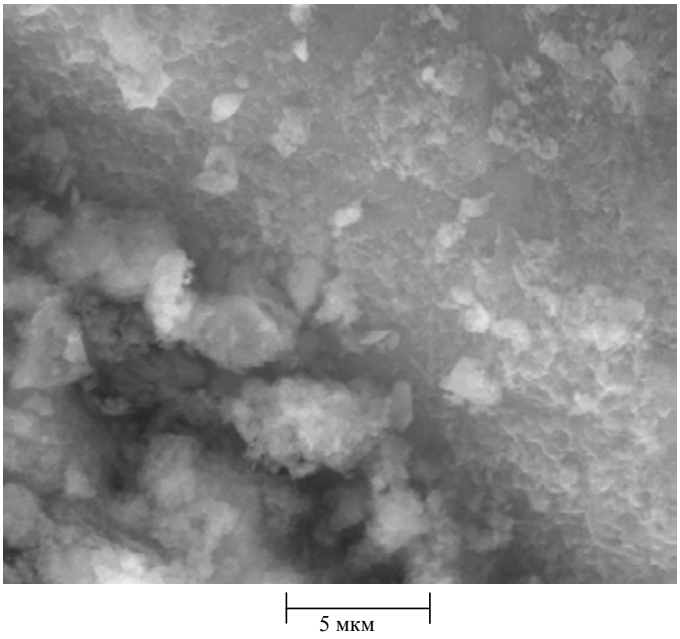

Рис. 4. Поверхность бетона с добавкой оксида кремния, полученная при увеличении в 10000 раз

Бетон имеет плотную структуру, поверхность зернистая, при увеличении в 10000 раз видно, что расположение заполнителя хаотичное, плавающее (рис. 4).

Образец 3: в смесь песка крупностью < 0,63 мм – 300 мас.ч. и цемента М500 D0 – 100 мас.ч. вводилась вода с добавкой, подготовленная следующим образом: вода – 65 мас.ч., диоксид кремния – 0,015 мас.ч. и ТЭОС – 0,15 мас.ч., перемешанные мешалкой в течение 15 мин. По-

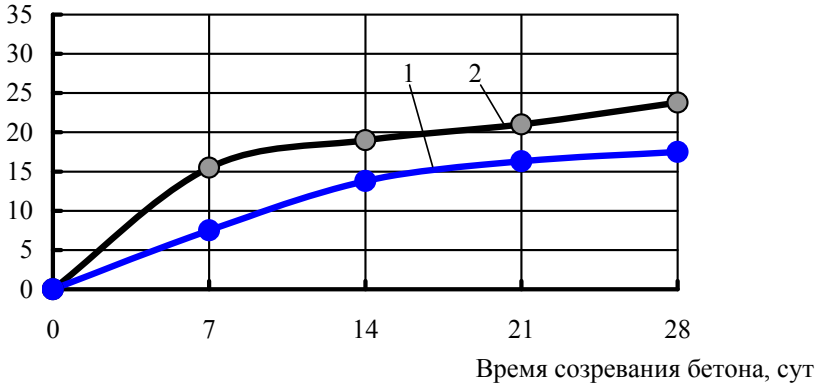

Рис. 5. Зависимость прочности мелкозернистого бетона от времени созревания и состава смеси: 1 – песок фракции < 0,63 – 300 мас.ч., цемент – 100 мас. ч., вода – 70 мас.ч.; 2 – песок фракции < 0,63 – 300 мас.ч., цемент – 100 мас. ч., вода – 70 мас.ч., оксида кремния – 0,015 мас.ч., тетраэтоксисилан – 0,15 мас.ч.

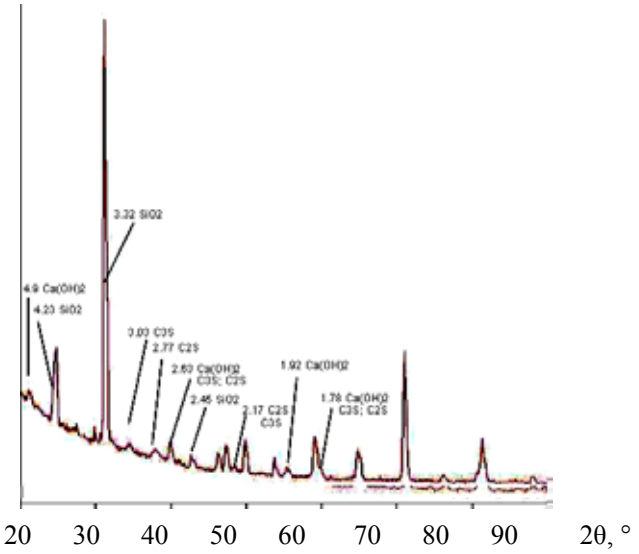

Рис. 6. Рентгенограмма минерального состава бетона: с добавкой олеата натрия и тетраэтоксисилана. 1 – $Ca(OH)_2$ – гидроксид кальция; 2 – SiO_2 – оксид кремния; 3 – C_3S – алит; 4 – C_2S – белит

лученная бетонная смесь имела осадку конуса 8 см. Прочность бетона при сжатии через 28 сут. составляет 23,8 МПа. Изменение прочности бетона при сжатии со временем представлено на рис. 5.

Рентгенограмма качественного минерального состава бетона с добавкой оксида кремния и тетраэтоксисилана представлена на рис. 6.

Интенсивность дифракционных отражений алита и белита в образце 3 ниже по сравнению с контрольным образцом, что объясняется их большей гидратацией при взаимодействии с водой. Интенсивность дифракционного отражения оксида кремния и гидроксида кальция в образце 3 значительно ниже, что объясняется их более полным взаимодействием. Общий уровень закристаллизованности образца 3 выше, чем у контрольного образца.

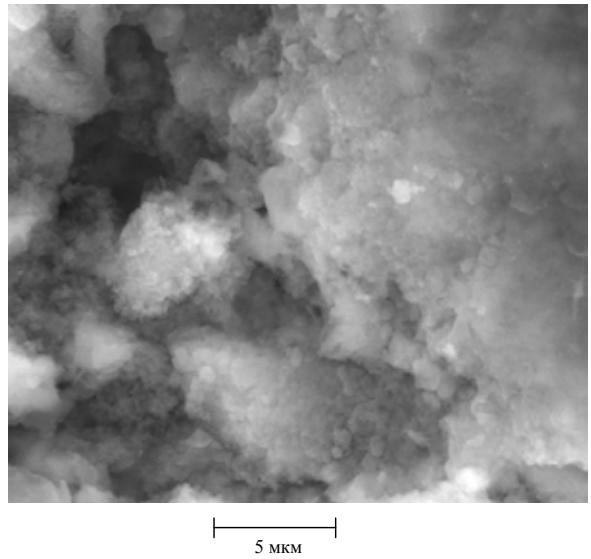

Рис. 7. Поверхность бетона с добавкой оксида кремния и тетраэтоксисилана, полученная при увеличении в 10000 раз

Были проведены исследования поверхности бетонного камня на электронном растровом микроскопе, результаты которых приведены на рис. 7. Структура бетона плотная, поверхность зернистая, при увеличении в 10000 раз видно, что расположение заполнителя хаотичное, плавающее. Видно, что преобладают конгломераты небольшого размера.

Опытным путем было установлено, что применение олеата натрия и тетраэтоксисилана с оксидом кремния в бетонную смесь в качестве добавок повышает подвижность бетонной смеси до 14 %, повышает прочность бетона при сжатии в 1,36–1,5 раза. Это происходит за счет понижения поверхностного натяжения на границе раздела фаз «цемент-вода», тем самым уменьшается внутреннее напряжение за счет уменьшения контракции пор, а также из-за того, что в результате гидролиза тетраэтоксисилана образуются наноразмерные частицы оксида кремния, которые служат центром структурообразования при формировании цементного камня и за счет удержания избыточного количества влаги оксидом кремния.

Модифицирующие добавки позволяют получить бетонную смесь с повышенной подвижностью и бетон с повышенной прочностью при сжатии. Приведенные составы бетонных смесей возможно использовать на практике при производстве бетонных полов, штукатурки стен и потолков, в качестве ремонтных составов, а также в других элементах здания.

Список литературы

[1] ГОСТ 10180-90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.

[2] ГОСТ 10181-2000. Смеси бетонные. Общие требования.

[3] ГОСТ 31108-2003. Цементы общестроительные. Технические условия.

[4] ГОСТ 23732-93. Вода для бетонов и растворов. Технические условия.

[5] ГОСТ 14922-77. Аэросил. Технические условия.

[6] ТУ 6-09-5230-85. Тетраэтоксисилан.

Modification of Concrete and Organic Nanoparticles Substances

Alexander I. Khristoforov,
Irina A. Khristoforova and Oleg L. Eropov
Vladimir State University of A. and N. Stoletovs,
87 Gorkogo, Vladimir, 600000 Russia

Expansion, development and perfection of building manufacture demands from building materials. One of the most widespread materia-lov is concrete. Updating of concrete of PEAHENS and organic substances has the increasing development and leads to increase of durability of concrete at compression to 80 % and have withdrawn-chenie mobility of a concrete mix to 5 %.

Keywords: concrete, updating, organic substances, PEAHENS.