

9. Цурпал И.А. Некоторые задачи физически нелинейной плоской теории упругости. - В кн.: Теория пластин и оболочек. К., Изд-во АН УССР. 1962.
10. Савин Г.Н. Нелинейные задачи концентрации напряжений около отверстий в пластинах. - В кн.: Теория оболочек и пластин, Изд-во АН Арм. ССР Ереван 1964.
11. Миренков В.Е., Шутов В.А. Напряженное состояние полуплоскости ослабленной круговым отверстием. // Известия высших учебных заведений. N 12. 2000 г., с. 12...17.
12. Маховиков В.И. О приближении конформных отображений и их применении в теории упругости. // Прикл. мат. 1957, 3, 1, 20.. 37.
13. Goodier I.N., Phil. Mag., t.22, 1936, p 69.
14. Alblas J. B., Theorie van de driedimensionale Spanningstoestand in een doorborde plaat, Amsterdam, 1957.
15. Jessop H., Snell C., Allison J.M., The stress concentration factors in cylindrical tubes with transverse circular holes.// Aeronaut, Quart, 1959,10,4.
16. Савин Г.Н. Концентрация напряжений возле малых отверстий в неоднородно - напряженном плоском поле. - В кн.: Тр. Днепропетровск. инж.строит.ин-та, 1937, 20.
17. Jindra F. Einige Anwendungen eines nichtlinearen Elastizitätsgesetzes. Ing.Arch., 1954, 22,2.
18. Лехницкий С.Г. Плоская статистическая задача теории упругости анизотропного тела. // Прикладная мат. и мех. М, 1937.
19. Привалов И.И. Введение в теорию функций комплексного переменного Физматгиз, М.,1960.

УДК 666.97.546

*Левчук Н.В., Добрунова В.М.*

## МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ КОЛЛОИДНЫМИ РАСТВОРАМИ

В развитии технологии бетона на современном этапе основная роль принадлежит модифицированию цементных систем, что подтверждается многочисленными научными исследованиями и практикой. Особое место среди добавок - модификаторов занимают суперпластификаторы и высокодисперсные микрокремнеземсодержащие материалы. Воздействуя на процессы формирования структуры, особенно на начальной стадии коагуляции они, влияют на реологические свойства цементной системы, способствуют сокращению водопотребности.

Чтобы получить бетоны с плотной структурой и наивысшей стойкостью к агрессивным агентам, в цемент вводят добавки, которые не обладают вяжущими свойствами, но которые вступают в химические реакции с гидроксидом кальция с образованием силикатов. Как известно, реакции трехкальциевого силиката с водой имеют существенное значение, так как алит - главный источник механической прочности затвердевших цементов и его гидролиз является наиболее характерным процессом, который сопровождается схватыванием и твердением. Первым отщепляется гидроксид кальция, в результате чего и образуется гидросиликат кальция. Гидроксид кальция, образующийся при гидратации свободной извести, содержание которого должно быть не более 1%, или гидрولитический, получающийся в результате гидратации силикатов, осаждается первоначально в виде тонкокристаллической модификации. Образование крупнокристаллического гидроксида кальция в затвердевших цементах вредно отражается на устойчивости бетона, так как он легко разрушается агрессивными водами. Устойчивость затвердевших цементов при нагреве также зависит от присутствия гидроксида кальция. Механическая прочность его нарушается вследствие дегидратации извести. Ссылаясь на ряд авторов, наблюдавших серии кристаллических фаз в системе кремнезём - известь - вода, В.Эйтель подтверждает возможность образования моногидросиликатов типа  $2CaOSiO_2 \cdot H_2O$ . Поэтому введение добавок, связывающих гидроксид кальция, способствует увеличению механической прочности и стойкости вяжущего, на чем и основано использование различных порошковых добавок с содержанием кремнезёма.

Представленная в конце 80-тых годов классификация минеральных добавок техногенного происхождения, имеющих

одинаковый качественный состав и отличающихся степенью дисперсности, характеризует материалы по степени воздействия на цементные системы. Преобладание диоксида кремния аморфной модификации и высокая дисперсность обуславливают увеличение активности добавки. Высокодисперсные суспензии силикатов приготавливают механическим путем: дроблением, размальеванием, истиранием первоначального материала, при измельчении которых происходит разрушение связей. В основном это такие материалы как шлаки, золы уноса, золы котелен и т.д., с удельной поверхностью от 250 — 350 до 500 м<sup>2</sup>/кг.

Влияние микрокремнезема на формирование структуры цементной системы зависит от взаимодействия двух факторов - физического и химического. Физические особенности связаны с заполнением ультрадисперсными частицами пространства между частицами цемента и образованием коагуляционных контактов между ними, а также с увеличением плотности системы за счет формирования структуры на более поздних сроках твердения [1, 2].

С точки зрения прохождения химических процессов, как отмечают Каприелов С.С, Батраков В.Г., Шейнфельд А.В., система увеличивает содержание низкоосновных гидросиликатов, вместо образования высокоосновных гидросиликатов и портландита. Такие бетоны обладают комплексом уникальных характеристик, - высокой и сверхвысокой прочностью ( $R=80...120$  МПа), низкой проницаемостью ( $W 16...W 20$ ), высокой коррозионной стойкостью и долговечностью. Модификаторы такого рода представляют собой порошковые материалы насыпной плотностью 750-880 кг/м<sup>3</sup>, состоящие из гранул размером до 100 мкм. Каждая гранула - это агрегат из ультрадисперсных частиц микрокремнезема или золы, покрытых затвердевшей адсорбционной пленкой из молекул суперпластификатора и комплексона и, поэтому приготовление такого рода модификатора связано с определенными технологическими и экономическими трудностями [3].

Теоретические возможности использования модификатора, активно участвующего в процессе гидратации портландцемента, находящегося в высокоактивной мицеллярной форме, показано в работе [4], где авторы попытались показать преимущества введения модификатора в виде коллоидального раствора гидроксида алюминия. Экспериментальные данные

*Левчук Наталья Владимировна, аспирант каф. строительных материалов Брестского государственного технического университета.*

*Добрунова Валентина Михайловна, доцент каф. инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета.*

*Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.*

исследования модифицированных портландцементных систем (цементного камня, цементно-песчаного раствора, бетона) коллоидальным раствором гидроксида алюминия подтверждают теоретические выкладки [5].

Анализируя вышесказанное, т. е. преимущества введения микрокремнезема как высокоактивного модификатора и эффекта от введения добавки в виде коллоидального раствора со структурной единицей - мицеллой золя, можно предположить, что введение кремнезема в коллоидальном состоянии будет иметь преимущества перед порошковыми модификаторами.

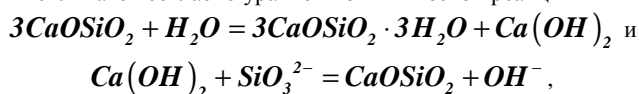
Введение коллоидального раствора кремнезема предпочтительнее как в химическом, так и в экономическом плане. Затраты на получение коллоидального раствора кремнезема, получаемого из силиката щелочных металлов незначительны (стоимость силиката натрия 250 руб/кг).

Рассмотрим подробнее свойства кремниевой кислоты. В.Энтель [6], ссылаясь на Грехэма, в своей классической работе по исследованию кремневой кислоты показал, что это вещество в аморфном состоянии значительно отличается от кристаллического и, в тоже время, раствор кремневой кислоты отличается и от растворов электролитов: при флокуляции он легко образует клееподобные агрегаты. Чем меньше гетерогенная структура дисперсной системы, тем выше степень дисперсности, больше удельная поверхность материала. Поэтому использование тонкомолотого микрокремнезема основано на увеличении активных центров в системе.

Гидрозоля кремневой кислоты, образовавшийся при реакции взаимодействия силиката натрия с соляной кислотой, спустя некоторое время способен переходить в студенистую гелевидную форму за счет включения воды во вновь образовавшееся пространство между мицеллами в сочитании с большим увеличением вязкости. Консистенция гелей зависит от способа их образования, содержания воды, температуры и других условий. Гидрогели кремневой кислоты изменяются по своему внешнему виду в соответствии с количеством содержания воды: при 30-4- молей воды на 1 моль кремневой кислоты гель легко режется ножом, при 20 молях – он довольно плотный, тугой, при 10- рассыпается, а при 6 молях – после размалывания образует сухой, тонкозернистый порошок.

Введение коллоидального раствора кремнезема внесёт в равновесную систему гидратации силикатов определенные изменения:

- в результате взаимодействия золя кремнезема с продуктами гидратации трехкальциевого силиката, а именно, с гидроксидом кальция, происходит нарушение химического равновесия в сторону увеличения концентрации гидросиликатов согласно уравнению химической реакции



взаимодействие гидрогелей кремнезема с гидроксидом кальция происходит медленно по мнению Тейлора Ф.[7], и преобладает в случае адсорбции  $Ca(OH)_2$  гелем кремнезема по мнению Маффеи [6];

- возможно образование низко и высоко силикатных соединений по типу этрингита –

УДК 666.97.546

Левчук Н.В.

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОЛЛОИДАЛЬНЫХ РАСТВОРОВ НА СЕДИМЕНТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ

Суспензии или взвеси порошков в жидкости имеют исключительно большое значение в природе и технике. К суспензиям, при достаточном содержании влаги, относятся поч-



Таким образом, создание интенсивной технологии бетона связано с применением химических добавок специального действия, влияющих на макро- и микроактивность и молекулярное состояние компонентов, а также регулирующих сроки схватывания и твердения, т.е. участие коллоидального раствора гидрогеля кремнезема в процессах гидратации портландцементных клинкерных минералов должно существенно влиять на прочностные характеристики портландцементных систем за счет увеличения концентрации гидросиликатов и, в первую очередь, низкоосновных.

При проведении предварительных экспериментальных исследований модифицирования песчано-цементных растворов коллоидальным раствором кремнезема получены результаты показывающие, что предел прочности на сжатие образцов значительно выше контрольных (*Руссл. / Рконтр.* =). В результате эксперимента подтверждается научная гипотеза об активизации процессов гидратации портландцементных систем коллоидальными растворами, содержащими активные коллоидные частицы - мицеллы, способные участвовать в химических процессах с образованием соединений (гидросиликатов), придающих портландцементным системам значительную повышенную прочность.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Каприелов С.С., Батраков В.Г., Шейнфельд А.В. Модифицированные бетоны нового поколения: реальность и перспективы. // Бетон и железобетон. - 1999. - № 6. - С. 6-10.
2. Каприелов С.С. Общие закономерности формирования структуры цементного камня и бетона с добавкой ультродисперсных материалов. // Бетон и железобетон. - 1995. - № 4. - С. 16-20.
3. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Батраков В.Г. Комплексный модификатор бетона марки МБ-01 // Бетон и железобетон. - 1997. - № 5. - С. 38-41.
4. Левчук Н.В., Добрунова В.М. Теоретические аспекты влияния коллоидального гидроксида алюминия на процессы гидратации портландцемента // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2002. - № 1: Строительство и архитектура. - С. 43-45.
5. Добрунова В.М. Левчук Н.В. Исследование влияния коллоидального раствора гидроксида алюминия на некоторые свойства бетона. // Проблемы технологии производства строительных материалов, изделий и конструкций, строительства зданий и сооружений, подготовки кадров для строительной отрасли: Материалы VIII Международного научно- практического семинара, Минск, 15-16 ноября 2001 г. /Под общ. Ред. И.Н. Ахвердова. - Минск, 2001. - С. 72-75.
6. Эйтель В. Физическая химия силикатов - М. - Изд. Иностранной литературы, 1962.- С. 183-366.
7. Тейлор Ф. Химия цементов. – М., Издательство литературы по строительству, - 1969.- С. 500.

вы и грунты, глиняное тесто, цементные и известковые растворы, применяемые в строительстве.

Частицы суспензий обладают сравнительно большим размером частиц (видны в поле микроскопа и визуально) и плот-