УДК 691.54

ВЛИЯНИЕ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ НА ПРОЧНОСТЬ КОМПОЗИЦИОННОГО ЦЕМЕНТА

Барабаш И.В., *д.т.н., проф.,* **Кровяков С.А..** *к.т.н., доц.,*
Зубченко Н.А., *инж.*

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Согласно ДСТУ Б В.2.7-46-96 к композиционным относятся цементы, содержащие помимо клинкера, не менее двух основных компонентов и в состав которых входит от 36 до 80 % минеральных добавок. При этом стандартом предусматривается два типа композиционного цемента марок 300, 400 и 500:

- КЦ V/А, который должен включать от 40 до 64% клинкера, 18..40% гранулированного доменного шлака и 10..20% пуццолана или зоны унос;
- КЦ V/Б, включающий 20..39% клинкера, 41..60% шлака и 20..40% пуццолана или зоны унос.

Экономический эффект композиционных цементов (КЦ) определяется существенным сокращением потребления энергоресурсов на процесс получения клинкера и помол вяжущего [1]. В КЦ при замене клинкера различными комбинациями природных и техногенных добавок происходит образование новых продуктов, за счет чего возможно ускорение процессов гидратации, повышение прочности и морозостойкости композита на основе данного вяжущего [2]. Помимо того, КЦ обладает повышенной трещиностойкостью, низкими усадкой при высыхании и набуханием в воде, он устойчив в пресных и сульфатных водах.

Также следует отдельно выделить, что композиционные цементы за счет дополнительной экономии клинкерной составляющей и экономии затрат на помол вяжущего имеют меньшую себестоимость по сравнению с «традиционным» портландцементом, и их применению выглядит весьма перспективным.

Экспериментально исследовалась возможность получения КЦ на основе цемента производства Одесского цементного завода (ООО «Цемент») и микрокремнезема, являющегося высокореакционным пуццоланом и одновременно техногенным отходом. Использовался ПЦ II/Б-Ш, содержащий 35% молотого гранулированного доменного шлака. Исследовалось вяжущее как без пластификатора, так и пластифицированное разжижителем С-3. Проводился 2-х факторный эксперимент, в котором варьировались следующие факторы:

X_1 – количество микрокремнезема, от 0 до 10%, при этом данной активной минеральной добавкой заменялась часть портландцемента;

X_2 – количество суперпластификатора С-3, от 0 до 1% от массы вяжущего. Выбор данного фактора обусловлен тем, что как известно эффективность пластифицирующих добавок может быть увеличена за счет их совместного использования с различными тонкомолотыми минеральными наполнителями [3,4].

При расчете экспериментально-статистических (ЭС) моделей переход от натурных к кодированным переменным выполнялся по типовой формуле [5].

Экспериментом предусматривалось получение цементного теста нормальной густоты в каждой точке плана, что достигалось корректировкой расхода воды затворения. На рис.1 показано изменение величины нормальной густоты цементного теста при замене части клинкерной составляющей микрокремнеземом (для разного количества добавки С-3).

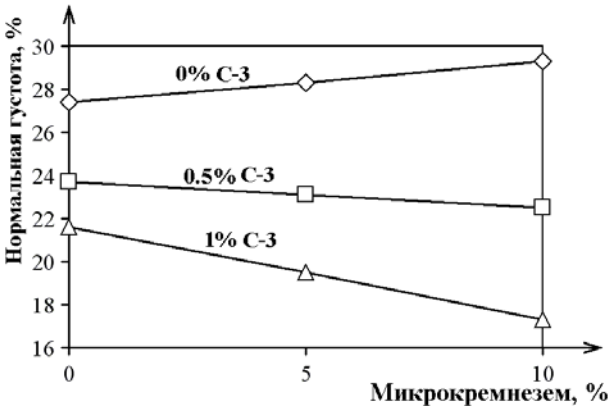

Рис.1. Влияние количества микрокремнезема на нормальную густоту цементного теста при разной дозировке пластификатора С-3

Анализ графических зависимостей позволяет сделать вывод о том, что в цементном тесте без пластификатора замена части клинкерной составляющей микрокремнеземом вызывает увеличение нормальной густоты, т.е. требует повышенного расхода воды затворения. Однако в случае применения суперпластификатора С-3 по мере введения микрокремнезема водопотребность цементного теста снижается. Таким образом, наблюдается явное изменение влияния пуццолановой составляющей в композиционном цементе при ее совмещении с С-3.

Прочностные характеристики цементного камня, твердевшего в нормальных условиях, определялись на 3-и и 28-е сутки. ЭС-модель, отображающая влияние варьируемых факторов состава на прочность

при сжатии цементного камня в возрасте 3-х суток имеет следующий вид (ошибка эксперимента $s_э$ = 1.0 МПа):

$$f_{cm3}\,(\text{МПа}) = 33.8 + 3.0x_1 \pm 0\,x_1^2 + 0.7x_1x_2 + 7.4x_2 - 4.8x_2^2 \qquad (1)$$

Поле данной модели показывает минимум $f_{cm3.min}$ = 19.4 МПа в точке с координатами $x_1 = x_2 = -1$ и максимум $f_{cm3.max}$= 40.2 МПа в точке с координатами $x_1 = 1$, $x_2 = 0.83$. В заданном возрасте наименее прочным является цементный камень, полученный из смеси с цементом без микрокремнезема и пластификатора С-3, а наиболее прочный – при введении в него 10% микрокремнезема и 0.9% С-3.

Диаграмма, построенная по ЭС-модели (1) и отображающая влияние количества микрокремнезема на прочность цементного камня в возрасте 3-х суток при разной дозировке С-3 показана на рис.2.а.

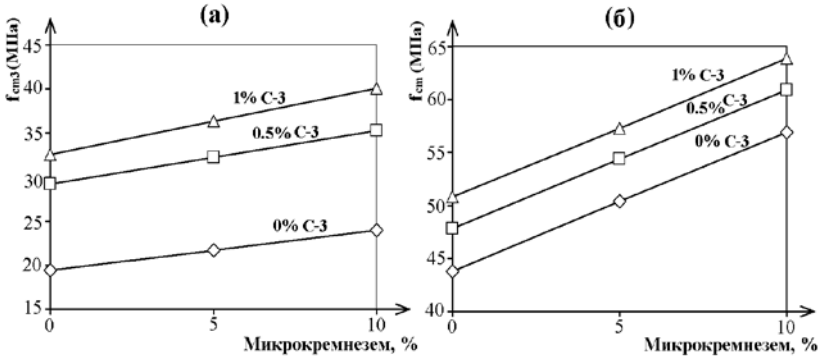

Рис.2. Влияние количества микрокремнезема на прочность цементного камня из композиционного цемента при разной дозировке пластификатора С-3: а - в возрасте 3-х суток; б - в возрасте 28-ми суток

Как видно из диаграммы, замена в вяжущем до 10% портландцемента на микрокремнезем на 20..24% повышает прочность цементного камня, причем у составов с пластификатором данный эффект проявляется ощутимее. Таким образом, вводя в портландцемент ПЦ II/Б-Ш 10% микрокремнезема и 1% С-3 в 3-х суточном возрасте возможно увеличить прочность цементного камня с 19.4 до 40.2 МПа, то есть приблизительно в два раза.

Композиционный цемент сохраняет свои преимущества и в марочном, 28-ми суточном возрасте. ЭС-модель, отображающая влияние варьируемых факторов на прочность цементного камня в возрасте 28-ми суток имеет следующий вид ($s_э$ = 2.9 МПа):

$$f_{cm}\,(МПа) = 53.6 + 6.7x_1 \pm 0\,x_1^2 \pm 0\,x_1x_2 + 3.1x_2 \pm 0\,x_2^2 \qquad (2)$$

Поле данной модели показывает минимум $f_{cm.min} = 43.8$ МПа в точке с координатами $x_1 = x_2 = -1$ и максимум $f_{cm.max} = 63.9$ МПа в точке с координатами $x_1 = x_2 = 1$. Наименее прочным в поле модели (2) является цементный камень без микрокремнезема и суперпластификатора С-3, а наиболее прочным – при введении 10% микрокремнезема и 1% С-3. Влияние исследованных факторов на прочность цементного камня в возрасте 28 суток аналогично влиянию данных факторов в возрасте 3-х суток. Построенная по ЭС-модели (2) диаграмма, отображающая влияние количества микрокремнезема на прочность цементного камня в марочном возрасте при разной дозировке С-3 показана на рис.2.б.

Анализ диаграммы позволяет сделать вывод, что замена в вяжущем 10% портландцемента на микрокремнезем повышает прочность цементного камня на 26..30%, что аналогично влиянию микрокремнезема на прочность в возрасте 3-х суток, но еще более ощутимо. Количество добавки С-3 оказывает на марочную прочность меньшее влияние, чем на прочность в 3-х суточном возрасте, хотя обще положительное влияние водоредуцирования сохраняется.

В 28-ми суточном возрасте прочность цементного камня на ПЦ II/Б-Ш с добавкой 10% микрокремнезема и 1% С-3 на 46% выше прочности контрольных образцов, приготовленных из смеси ПЦ II/Б-Ш и воды.

Представляет интерес выявить влияние количества молотого гранулированного шлака в портландцементе на прочность цементного камня. В эксперименте выполнялось две параллельные серии образцов – первая серия (контроль) без пластификатора и микрокремнезема, вторая серия с органо-минеральной добавкой, т.е. при использовании микрокремнезема (МК) в количестве 10% от массы вяжущего и суперпластификатора С-3 в количестве 1%. Доля шлака в цементе варьировалось от 35 до 64% для контрольных составов и от 31.5 до 61% для составов с органо-минеральной добавкой. Разница в диапазоне варьирования вызвана наличием 10% микрокремнезема в вяжущем второй серии, соответственно количество клинкерной составляющей в параллельных точках двух серий было аналогично и снижалось по мере роста доли шлака. Исследовался цементный камень из теста нормальной густоты. На рис.3 отображено влияние доли молотого шлака в вяжущем на прочность цементного камня в 28-ми суточном возрасте.

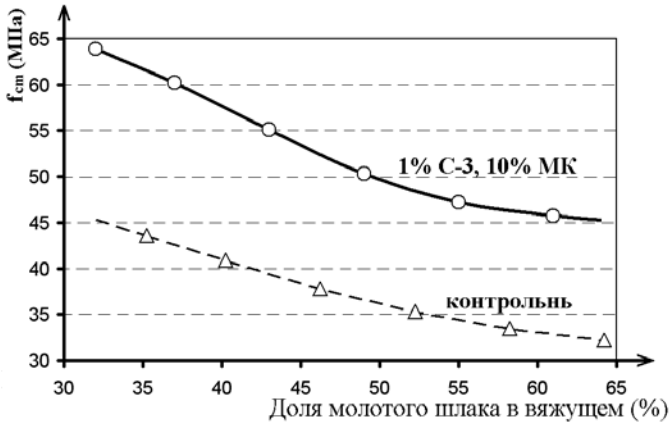

Рис.3. Влияние доли молотого шлака в вяжущем на прочность цементного камня в возрасте 28-ми суток

Как видно из диаграммы, по мере уменьшения доли клинкерной составляющей прочность цементного камня снижается как для контрольных составов, так и для составов с органо-минеральной добавкой. Причем по мере увеличения количества молотого шлака до 45..50% прочность снижается достаточно существенно, а дальнейший рост доли шлака (до 60..62%) вызывает относительно незначительное снижение прочности цементного камня.

Важно отметить, что композиционное вяжущее, содержащее 55% шлака и 10% микрокремнезема показало прочность, аналогичную, прочности цементного камня из ПЦ II/Б-Ш, содержащего 35% молотого гранулированного доменного шлака при равном количестве пластификатора. Контрольный состав из ПЦ II/Б-Ш показал прочность около 44 МПа, а состав с органо-минеральной добавкой с количеством доменного шлака 61% – около 46 МПа. Дополнительно повысить качество прочность цементного камня возможно за счет активации композиционного вяжущего [6]. Данное направление требует дополнительных исследований, которые запланированы нашим авторским коллективом в ближайшей перспективе.

В целом, проведенные исследования показывают значительный потенциал композиционных цементов как вяжущих для производства растворных и бетонных смесей. Перспективность данных видов вяжущих обуславливается их достаточно высоким качеством при одновременной экономической эффективности за счет использования доступных по стоимости отходов производства. Механоактивация откроет дополнительные возможности повышения качества композиционного цемента.

Summary

The efficiency of the composite cement containing 10% silica fume. This cement is used for the repair of building structures. Composite cement in combination with a plasticizer improves the speed of hardening and strength of the composite.

Литература

1. Шахова Л.Д. Исследование продуктов гидратации композиционных цементов / Л.Д. Шахова, Д.Е. Кучеров. – Известия ВУЗов. Строительство, 2010, №5. – С. 16-21.

2. Тимашев В.В. Свойства цементов с карбонатными добавками / В.В. Тимашев, В.М. Колбасов. – Цемент, 1981, №10. – С. 10-12.

3. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. – 2-е изд. / В.Г. Батраков – М.: Технопроект, 1998. – 768 с.

4. Каприелов С.С. Новые модифицированные бетоны / С.С. Каприелов, А.В. Шейнфельд, Г.С. Кардумян . – М.: Парадиз, 2010. – 258 с.

5. Вознесенский В.А. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Б.Л. Огарков. – К.: Вища школа, 1989. – 327 с.

6. Барабаш І.В. Механохімічна активація мінеральних в'яжучих речовин/ І.В. Барабаш. - Навч. посібник. – Одеса: Астропрінт, 2002. – 100 с.