

УДК 691.54

ВЛИЯНИЕ МИКРОКРЕМНЕЗЕМА И МОЛОТОГО ШЛАКА НА СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ЦЕМЕНТОВ

ВПЛИВ МІКРОКРЕМНЕЗЕМУ І МОЛОТОГО ШЛАКУ НА ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИЦІЙНИХ ЦЕМЕНТІВ

EFFECT OF MICROSILICA AND GROUND SLAG ON THE PROPERTIES OF COMPOSITE CEMENTS

Барабаш И.В., д.т.н., проф., Зубченко Н.А., инж. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

Барабаш І.В., д.т.н., проф., Зубченко Н.О., інж. (Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса)

Barabash I.V. doctor of technical sciences, professor , Zubchenko N.A., eng. (Odessa state academy of civil engineering and architecture, Odessa)

Исследовано влияние количества микрокремнезема, а также количества и дисперсности молотого шлака на свойства композиционного цемента. Показана эффективность применения данных техногенных отходов в сочетании с пластификатором С-3 для получения вяжущего.

Досліджено вплив кількості мікрокремнезему, а також кількості та дисперсності меленого шлаку на властивості композиційного цементу. Показано ефективність застосування даних техногенних відходів у поєднанні з пластифікатором С-3 для отримання в'язучого.

The effect of microsilica, and the amount and fineness of ground slag cement composite properties. The efficiency of the use of these industrial waste together with a plasticizer S-3 to produce cement.

Ключові слова:

Композиционный цемент, шлак, микрокремнезем, пластификатор.

Композиційний цемент, шлак, мікрокремнезем, пластифікатор.

Composite cement, slag, micro-silica, a plasticizer.

Состояние вопроса и задачи исследования. Согласно ДСТУ Б В.2.7-46-2010, который гармонизирован с Европейским стандартом EN 197, 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/A, который должен включать от 40 до 64% клинкера, 18..40% гранулированного доменного шлака и 10..20% пуццолана, зоны унос или известняка;

- КЦ V/B, включающий 20..39% клинкера, 41..60% шлака и 20..40% пуццолана, зоны унос или известняка.

Пуццолановой активностью обладает большая группа добавок природного и техногенного происхождения, общей особенностью которых является способность реагировать с гидроксидом кальция при нормальной температуре с образованием низкоосновных гидросиликатов и гидроалюминатом кальция. Добавка известняка, которая допускается ДСТУ, не имеет пуццолановой активности, однако способна взаимодействовать с алюминатной фазой цемента и существенно влиять на процесс структурообразования.

Экономический эффект от использования композиционных цементов определяется тем, что существенно сокращается потребление энергоресурсов на процесс получения клинкера и помол вяжущего [1]. Помимо того, сокращается эмиссия CO_2 в атмосферу, выделяющегося при обжиге клинкера. Как показано в работах М.А. Саницкого [2,3], за счет оптимального соотношения компонентов, имеющих различную природу активности, возможно получение композиционных цементов, не уступающих по прочностным характеристикам исходным клинкерным цементам и при этом обладающих некоторыми дополнительными важными характеристиками. А за счет комбинирования минеральных добавок-наполнителей в сочетании с механо-химической обработкой в присутствии эффективных пластификаторов возможно получение композиционных цементов низкой водопотребности, которые по своим физико-механическим свойствам значительно превышают исходные клинкерные вяжущие [2,4].

Наиболее распространённым в условиях сырьевой базы Украины является использование в качестве компонентов композиционного цемента техногенных отходов – основного доменного шлака и микрокремнезема в качестве пуццоланы. Представляет интерес изучить влияние количества микрокремнезема, а также количества и удельной поверхности молотого шлака на свойства композиционных цементов (КЦ).

Методика исследований. Исследовалась возможность получения КЦ на основе цемента производства Одесского цементного завода (ООО «Цемент»). Применялся ПЦ II/B-III, содержащий 35% молотого гранулированного доменного шлака. Проводился 3-х факторный эксперимент по 15-ти почвенному симметричному плану [5]. Варьировались следующие факторы состава цемента:

X_1 – количество микрокремнезема, от 0 до 10% от массы вяжущего;

X_2 – количество дополнительно введенного в вяжущее молотого гранулированного шлака, от 20 до 60% от массы вяжущего;

X_3 – удельная поверхность (тонкость помола) шлака, от 300 до 500 $\text{кг}/\text{м}^2$.

Построение и статистический анализ экспериментально-статистических (ЭС) моделей выполнялся по типовым методикам.

Вяжущее пластифицировалось разжижителем С-3 к количеству 1% от массы цемента.

Результаты исследований. Исследовался цементный камень из теста нормальной густоты (НГ). Водопотребность теста зависела от его состава, т.е. количества микрокремнезема, количества и удельной поверхности шлака. Влияние варьируемых факторов состава на величину НГ адекватно описывает приведенная ниже ЭС-модель:

$$\begin{aligned} \text{НГ} = & 0.236 - 0.012x_1 - 0.007x_1^2 \\ & - 0.012x_2 + 0.006x_2^2 \\ & + 0.002x_3 \end{aligned} \quad (1)$$

По приведенной выше ЭС-модели построена диаграмма в виде куба, показанная на рис.1.

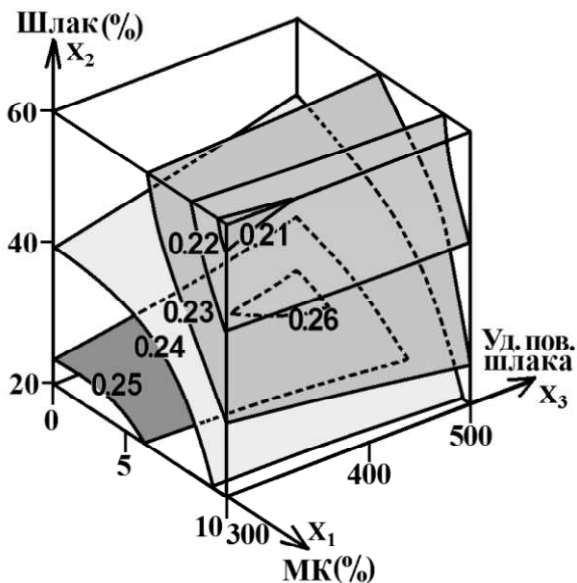


Рис.1. Влияние варьируемых факторов состава на нормальную густоту цементного теста

Анализ диаграммы на рис.1 позволяет отметить, что величина НГ наиболее существенно снижается при введении микрокремнезема, т.е.

данный компонент в присутствии пластификатора С-3 имеет дополнительный водоредуцирующий эффект. Увеличение доли молотого шлака в вяжущем также снижает величину НГ, т.к. шлак имеет более низкую водопотребность по сравнению с клинкерной составляющей. Изменение величины удельной поверхности молотого шлака в пределах от 300 до 500 кг/м² несущественно увеличивает величину НГ цементного теста.

Прочность цементного камня исследовалась в возрасте 3-х и 7-ми суток. По ЭС-моделям, аналогичным (1), были построены показанные на рис.2 диаграммы, отображающие влияние варьируемых факторов состава на прочность при сжатии цементного камня.

Как видно из диаграммы (рис.2.а), введение микрокремнезема повышает прочность цементного камня в 3-х суточном возрасте на 20% и более при всех исследуемых расходах шлака в вяжущем. Увеличение доли шлака в цементе, естественно, снижает прочность цементного камня. Однако важно отметить, что прочность цементного камня на вяжущем с содержанием 60% шлака в присутствии 10% пуццоланы (микрокремнезема) аналогична прочности цементного камня на вяжущем с 20 % шлака без пуццоланового компонента. Повышение удельной поверхности шлака способствует дополнительному росту величины прочности цементного камня в возрасте 3-х суток, однако эффективность данного технологического приема можно признать сравнительно низкой ввиду необходимости дополнительных затрат энергии на размол шлака.

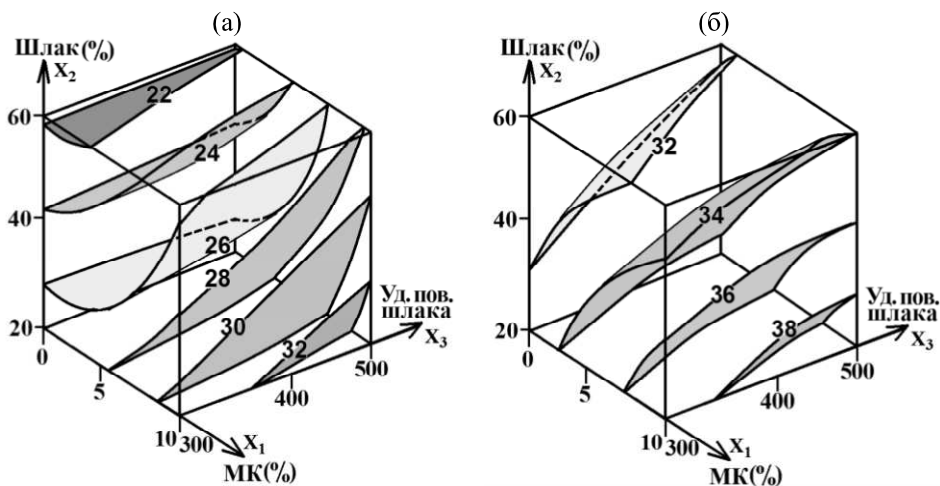


Рис.2. Влияние варьируемых факторов состава на прочность при сжатии цементного камня в возрасте 3-х (а) и 7-ми (б) суток (МПа)

Влияние состава вяжущего на прочность цементного камня при сжатии в 7-ми суточном возрасте (рис.2.б) практически аналогично его влиянию в 3-х суточном возрасте. При сохранении всех описанных выше тенденций можно отметить незначительное снижение степени влияния количества микрокремнезема и шлака. Важно отметить, что так же, как и в возрасте 3-х суток, прочность цементного камня на вяжущем с содержанием 60% шлака в присутствии 10% микрокремнезема аналогична прочности цементного камня на вяжущем с 20 % шлака без пуццоланы.

Влияние варьируемых факторов состава на прочность на растяжение при изгибе цементного камня в возрасте 3-х и 7-ми суток описывают приведенные ниже ЭС-модели:

$$f_{\text{ctk},3}(\text{МПа}) = 4.04 + 0.14x_1 - 1.05x_2 + 0.21x_3 \quad (2)$$

$$f_{\text{ctk},7}(\text{МПа}) = 5.33 + 0.16x_1 - 1.42x_2 + 0.36x_3 + 0.28x_3^2 \quad (3)$$

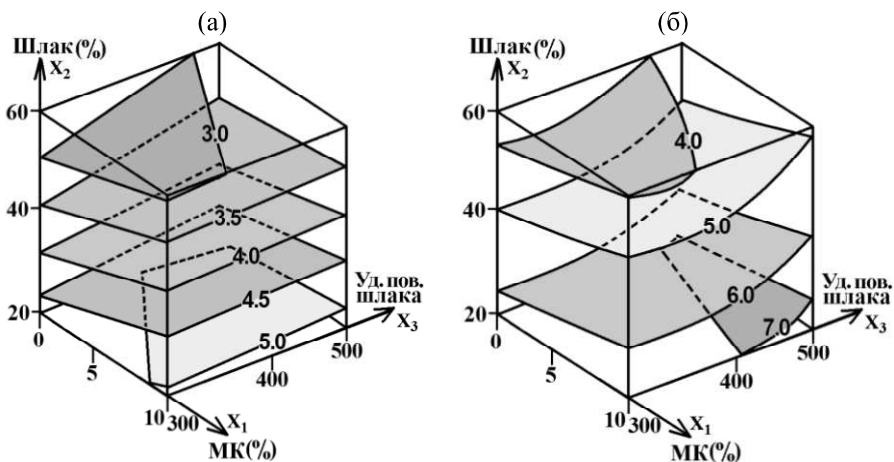


Рис.3. Влияние варьируемых факторов состава на прочность на растяжение при изгибе цементного камня в возрасте 3-х (а) и 7-ми (б) суток (МПа)

По данным ЭС-моделям построены диаграммы, приведенные на рис.3. Их анализ позволяет отметить, что в раннем возрасте (3-7 суток) наиболее существенное влияние на прочность на растяжение при изгибе оказывает количество молотого гранулированного шлака. Увеличение доли данного техногенного отхода в вяжущем до 60% снижает величину f_{ctk} цементного камня приблизительно на 2 МПа в возрасте 3-х суток и 2.5 МПа в 7-ми суточном возрасте. Экспериментом установлено, что за счет введения микрокремнезема в вяжущее возможна частичная компенсация снижения

прочности при введении шлака. Величина удельной поверхности молотого шлака несущественно влияет на прочность на растяжение при изгибе цементного камня, хотя по мере повышения дисперсности данного компонента вяжущего величина $f_{\text{стк}}$ незначительно возрастает.

Выводы. В целом за счет совместного использования в составе композиционного вяжущего доменного шлака и микрокремнезема как пуццоланового компонента, эффективность применения техногенных отходов значительно возрастает. В частности, прочность цементного камня из теста на основе ПЦ II/Б-Ш, в который было дополнительно введено 40% шлака и 10% микрокремнезема, практически аналогична прочности камня из исходного цемента.

Совместное введение в ПЦ II/Б-Ш молотого доменного шлака и микрокремнезема позволяет сэкономить до 30% клинкера, обеспечивая при этом получение цементного камня с прочностью, не уступающей прочности цементного камня на исходном вяжущем.

Дополнительно повысить эффективность композиционного вяжущего возможно за счет использования механической активации [2,6], что требует дополнительных исследований, которые проводятся нашим авторским коллективом.

1. Шахова Л.Д. Исследование продуктов гидратации композиционных цементов / Л.Д. Шахова, Д.Е. Кучеров. – Известия ВУЗов. Строительство, 2010, №5. – С. 16-21.
2. Саницький М.А. Модифіковані композиційні цементи / М.А. Саницький, Х.С. Соболев, Т.Е. Марків. – Львів: вид-во Львівської політехніки, 2010. – 130 с.
3. Composite cements for energy-saving concrete technologies / [M. Sanytsky, Kh. Sobol, T. Markiv, W. Bialczak] // Praca zbiorowa «Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym» - Crestochova (Poland), 2004. – pp. 373-377.
4. Соболев Х.С. Концепція застосування модифікованих композиційних цементів у будівельному виробництві / Х.С. Соболев // Вісник національного ун-ту «Львівська політехніка». – 2004. - №520. – С.179-182.
5. Вознесенский В.А. Численные методы решения строительнотехнологических 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'язучих речовин/ І.В. Барабаш. - Навч. посібник. – Одеса: Астропрінт, 2002. – 100 с.