

СВОЙСТВА МЕХАНОАКТИВИРОВАННЫХ ШЛАКОСОДЕРЖАЩИХ ВЯЖУЩИХ

Барабаш И.В., д.т.н., проф., Зубченко Н.А., инж.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Постоянно повышающиеся требования по энергоэффективности производства затрагивают как цементную промышленность, так и строительную отрасль в целом. Одним из известных путей снижения энерго- и материалоемкости производства гидравлических вяжущих является широкое использование отходов металлургических производств – доменных шлаков. Практика производства малоклинкерных цементов показала, что наиболее эффективным методом применения шлаков можно считать их использование в составе композиционных цементов (КЦ), т.е. вяжущих, содержащие помимо клинкера не менее двух основных компонентов в состав которых входит от 36 до 80 % минеральных добавок [1]. В условиях сырьевой базы Украины в качестве компонентов композиционного цемента помимо доменного шлака наиболее целесообразно использование микрокремнезема в качестве пуццоланы.

Также представляет интерес изучение возможности повышения эффективности композиционного цемента за счет его механоактивации [2] и применения суперпластификатора. За счет рационального сочетания компонентов композиционного цемента и добавки при одновременном использовании активации возможно получение вяжущих низкой водопотребности, которые по своим свойствам значительно превышают свойства исходных клинкерных вяжущих.

Исследовались свойства шлакосодержащего вяжущего (КЦ) на основе цемента ПЦ II/Б-III производства Одесского цементного завода. Доля молотого гранулированного доменного шлака в исходном цементе – 35%.

Проводился 3-х факторный эксперимент по 15-ти точечному симметричному плану [3]. Варьировались следующие факторы состава шлакосодержащего вяжущего [4-6]:

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

X_2 – количество дополнительно введенного в вяжущее на основе ПЦ II/Б-III молотого гранулированного шлака, от 20 до 60% массы вяжущего;

X_3 – удельная поверхность (тонкость помола) шлака, от 300 до 500 м²/кг.

Вяжущее пластифицировалось разжижителем С-3 в количестве 1% от массы цемента. Исследования проводились на двух аналогичных сериях образцов: первой – с применение механоактивации вяжущего в трибоактиваторе (длительностью 60 сек), второй (контрольной) – по традиционной технологии.

Исследовался цементный камень из теста нормальной густоты (НГ), соответственно водопотребность теста зависела от состава [4-6]. Анализ влияния варьируемых факторов показал, что величина НГ существенно снижается при введении микрокремнезема, т.е. данный компонент в присутствии пластификатора С-3 имеет некоторый 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 несущественно увеличивает НГ цементного теста. При приготовлении теста с применением механоактивации величина его НГ снижалась в среднем на 5.6%.

Прочность цементного камня в обеих сериях исследовалась в возрасте 3-х и 28-ми суток. Ниже приведены экспериментально-статистические (ЭС) модели [3], описывающие влияние варьируемых факторов состава на прочность при сжатии цементного камня в возрасте 3-х суток, соответственно для механоактивированного (индекс «м») и контрольного (индекс «к») вяжущих:

$$f_{\text{ck.cube.3.м}} = 35.2 + 3.3x_1 + 1.3x_1^2 - 0.7x_1x_2 - 3.4x_2 + 0.7x_2x_3 + 1.2x_3 \quad (1)$$

$$f_{\text{ck.cube.3.к}} = 25.6 + 2.7x_1 + 1.8x_1^2 - 2.7x_2 + 0.8x_1x_3 + 0.8x_3 \quad (2)$$

По приведенным выше ЭС-моделям построены показанные на рис.1 диаграммы в виде кубов. Их анализ позволяет сказать, что введение микрокремнезема в вяжущее повышает прочность цементного камня в

3-х суточном возрасте на 6..8 МПа для активированных составов и на 4..6 МПа для контрольных. Такое влияние микрокремнезема на прочность наблюдалось практически для всех исследованных составов. Увеличение доли шлака снижает прочность цементного камня, однако важно отметить, что прочность как активированных, так и контрольных вяжущих с содержанием 60% шлака в присутствии 10% пуццоланы (микрокремнезема) аналогично прочности вяжущего с 20% шлака без пуццоланового компонента. Повышение степени размола шлака способствует дополнительному росту прочности при сжатии цементного камня в возрасте 3-х суток.

Наиболее важным техническим результатом можно считать то, что за счет механоактивации прочность цементного камня в возрасте 3-х суток возростала на 8..10 МПа практически для всех исследованных составов шлакосодержащих вяжущих, что составляет от 37 до 46% прироста уровня $f_{ck,cube,3}$. Т.е. механоактивация является эффективным методом повышения активности вяжущего и скорости набора прочности цементного камня.

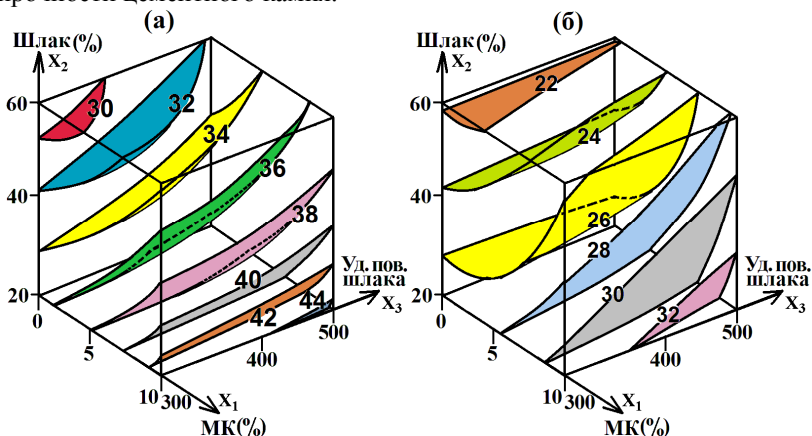


Рис. 1. Влияние варьируемых факторов состава на прочность при сжатии цементного камня в возрасте 3-х суток (МПа).
а) – механоактивированное вяжущее, б) контрольное вяжущее

По ЭС-моделям, аналогичным (1) и (2), были построены показанные на рис.2 диаграммы, отображающие влияние варьируемых факторов состава на прочность на растяжение при изгибе цементного камня в возрасте 3-х суток ($f_{ctk,3}$). Анализ данных диаграмм позволяет отметить, что в раннем возрасте 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 $f_{\text{ctk},3}$ цементного камня приблизительно на 2.5 МПа для активированных составов и на 2 МПа для контрольных. За счет введения микрокремнезема возможно частично компенсировать снижение прочности при введении шлака. Степень размола шлака несущественно влияет на прочность на растяжение при изгибе цементного камня, хотя по мере повышения удельной поверхности данного компонента вяжущего величина f_{ctk} несколько возрастает.

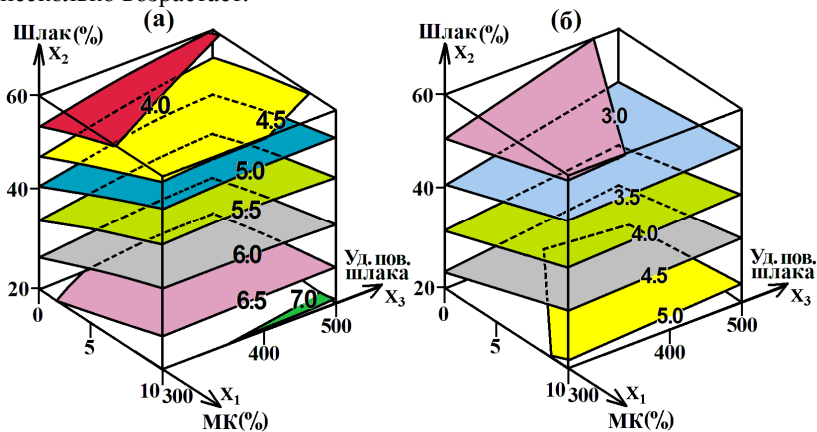


Рис.2. Влияние варьируемых факторов состава на прочность на растяжение при изгибе цементного камня в возрасте 3-х суток (МПа). а) – механоактивированное вяжущее, б) контрольное вяжущее

Механоактивация эффективно улучшает прочность шлакосоодержащего цементного камня на растяжение. Как видно из диаграмм и ЭС-моделей в возрасте 3-х суток прочность на растяжение при изгибе цементного камня на механоактивированном вяжущем была на 1-2 МПа выше по сравнению с $f_{\text{ctk},3}$ аналогичных составов, приготовленных по традиционной технологии.

ЭС-модели, описывающие влияние варьируемых факторов состава на прочность при сжатии цементного камня в возрасте 28-х суток, имеют следующий вид:

$$\begin{aligned}
 f_{\text{ck,cube},M} = & 53.9 + 2.4x_1 - 1.0x_1^2 - 1.2x_1x_2 \cdot \\
 & - 2.5x_2 \cdot \quad \bullet \\
 & + 0.9x_3 \cdot \quad \bullet
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

$$f_{\text{ck.cube.k}} = 46.6 + 2.3x_1 - 1.6x_1^2 - 1.9x_2 + 1.0x_3 - 1.3x_3^2 \quad (4)$$

По данным ЭС-моделей построены показанные на рис.3 диаграммы. Их анализ позволяет сделать вывод, что положительное влияние механоактивации на прочностные свойства цементного камня сохраняется и в марочном возрасте. Величина $f_{\text{ck.cube}}$ активированных составов была на 7-8 МПа выше, чем у приготовленных по традиционной технологии аналогичных составов. Это объясняется увеличением активности вяжущего и снижением водопотребности за счет интенсивной технологии приготовления.

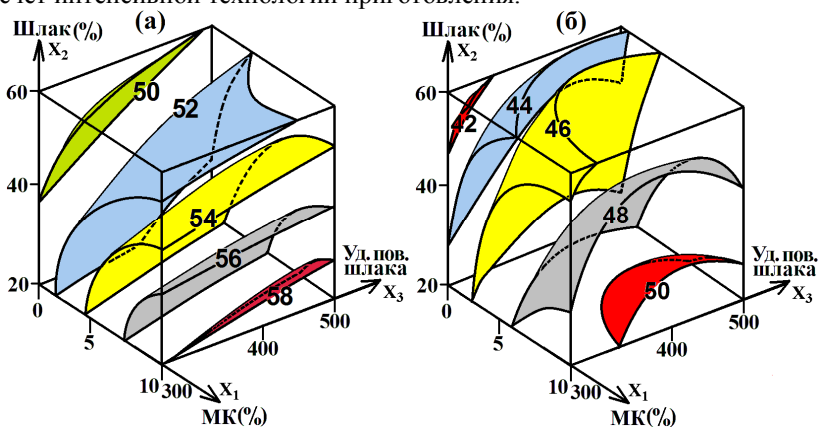


Рис.3. Влияние варьируемых факторов состава на прочность при сжатии цементного камня в возрасте 28-ми суток (МПа).
а) – механоактивированное вяжущее, б) контрольное вяжущее

Влияние состава вяжущего на прочность цементного камня при сжатии в 28-ми суточном возрасте как для активированных, так и для контрольных составов практически аналогично его влиянию в 3-х суточном возрасте. При сохранении всех описанных выше тенденций можно отметить снижение степени влияния количества шлака. Важным техническим результатом можно считать то, что прочность цементного камня с содержанием 60% шлака в присутствии 10% микрокремнезема даже несколько выше прочности цементного камня на вяжущем с 20% шлака без пуццоланы. То есть использование техногенных отходов в композиционном цементе значительно

эффективнее [4,7], нежели в более распространённом шлакопортландцементе.

По соответствующим ЭС-моделям построены показанные на рис.4 диаграммы, отображающие влияние варьируемых факторов состава на прочность на растяжение при изгибе цементного камня в 28-ми суточном возрасте (f_{ctk}). Их анализ позволяет отметить, что так же, как и в возрасте 3-х суток, на величину f_{ctk} в наибольшей степени влияет количество молотого шлака. Влияние величины удельной поверхности шлака в марочном возрасте практически нивелируется, что объясняется большим временем твердения, позволяющим полнее реализовать химический потенциал более крупных зерен вяжущего. За счет введения 10% микрокремнезёма прочность на растяжение при изгибе цементного камня на шлакосодержащем вяжущем возрастает на величину до 1 МПа. Составы на механоактивированном вяжущем показывают уровень f_{ctk} в среднем на 1 МПа выше, чем составы, приготовленные по традиционной технологии.

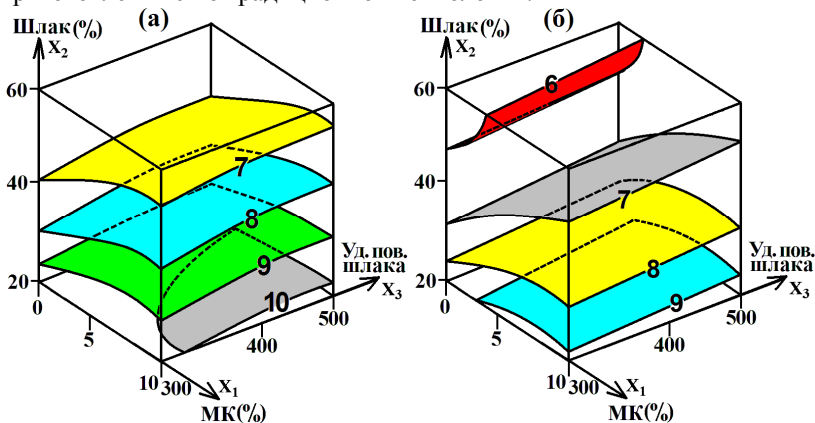


Рис.4. Влияние варьируемых факторов состава на прочность на растяжение при изгибе цементного камня в возрасте 28-и суток (МПа).

а) – механоактивированное вяжущее, б) контрольное вяжущее

Выводы

В целом, можно сделать вывод, что за счет использования доменного шлака в составе композиционных цементов [7], включающих микрокремнезем как пуццолановый компонент, эффективность применения данного техногенного отхода значительно

возрастает по сравнению с его применением в более распространенном на рынке Украины шлакопортландцементе. За счет применения механоактивации прочность композитов на шлакосодержащем вяжущем может быть дополнительно повышена.

Так прочность цементного камня из механоактивированного теста, содержащего 1% С-3 и ПЦ П/Б-Ш в который было дополнительно введено 40% шлака и 10% микрокремнезема в возрасте 3-3 суток выше прочности камня из исходного цемента с аналогичным количеством пластификатора. При этом «эталонный» цемент ПЦ П/Б-Ш содержит 35% молотого доменного шлака и около 62% клинкерной составляющей, а исследованное в данном примере композиционное вяжущее в сумме – 58% шлака и около 32% клинкера. В 28-ми суточном возрасте эффективность механоактивации сохраняется, хотя и немного снижается. Соответственно, прочность цементного камня на пластифицированном вяжущем на основе ПЦ П/Б-Ш составляет около 57 МПа, а прочность цементного камня на активированном композиционном вяжущем со значительно увеличенной долей техногенного отхода (шлака) составляет около 54 МПа. Таким образом, с учетом сырьевой базы Украины, можно признать перспективным использование композиционных вяжущих, в том числе активированных, в технологии производства бетонных и железобетонных изделий.

Summary

Investigated the strength of cement to slag and micro-silica. It is shown that more efficient use of blast furnace slag as part of the composite cement. Due to the activation and use of cement plasticizer composite strength is further improved.

Литература

1. Саницький М.А. Модифіковані композиційні цементи / М.А. Саницький, Х.С. Соболю, Т.Е. Марків. – Львів: вид-во Львівської політехніки, 2010. – 130 с.
2. Барабаш І.В. Механохімічна активація мінеральних в'язучих речовин/ І.В. Барабаш. - Навч. посібник. – Одеса: Астропрінт, 2002. – 100 с.
3. Вознесенский В.А. Численные методы решения строительного-технологических задач на ЭВМ / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Б.Л. Огарков. – К.: Вища школа, 1989. – 327 с.
4. Барабаш И.В. Влияние микрокремнезема и молотого шлака на свойства композиционных цементов/ И.В. Барабаш, Н.А. Зубченко// Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Випуск 26. – Рівне: НУВГП, 2013. – С.25-30.

5. Барабаш И.В. Влияние органо-минеральной добавки на прочность композиционного цемента / И.В. Барабаш, С.А. Кровяков, Н.А. Зубченко// Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. 50. Частина 1. – Одеса:Зовнішрекламсервіс, 2013. – С. 25-30.

6. Зубченко Н.А. Снижение энергоемкости производства цемента за счет повышения эффективности использования доменного шлака / Н.А. Зубченко// Энергоэффективные технологии в городском строительстве и хозяйстве – Одеса:ОДАБА, 2013. – С. 200-205.

7. 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.

