

БЕТОНЫ НА АКТИВИРОВАННОМ КОМПОЗИЦИОННОМ ЦЕМЕНТЕ

Зубченко Н.А., *инж.*, Барабаш Т.И., *к.т.н., доц.*

*Одесская государственная академия строительства и
архитектуры*

Современная строительная отрасль требует производства высококачественных бетонов при максимально возможном уровне использования техногенного и природного сырья, а также потенциала вяжущих. В текущих рыночных условиях одним из эффективных 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 [1], т.е. вяжущих, содержащих помимо клинкера не менее двух основных компонентов в состав которых входит до 80% минеральных добавок. В Украине как пуццолановый компонент композиционного цемента наиболее целесообразно использовать отход металлургического производства ферросилиция – микрокремнезем [2].

Задача повышения эффективности вяжущих остается актуальной для материаловедения, соответственно актуальна задача повышения потенциала композиционных вяжущих. Одним из зарекомендовавших себя способов повышения активности цементов является механоактивация [3,4]. Представляет интерес изучение и оценка эффективности применения механоактивированного композиционного цемента на основе отечественного сырья и техногенных отходов в сочетании с суперпластификатором.

Исследовались свойства бетонов на композиционном вяжущем, в качестве компонентов которого использовался клинкер, гипсовый камень, доменный гранулированный шлак металлургического комбината «Запорожсталь» и микрокремнезем.

По 25-ти точечному оптимальному плану проводился 4-х факторный эксперимент [5], в котором варьировались следующие факторы состава:

X_1 – количество вяжущего (400 ± 100 кг/м³),

X_2 – доля микрокремнезема в вяжущем ($5 \pm 5\%$),

X_3 – доля введенного в вяжущее молотого до $S_{уд} = 400 \text{ м}^2/\text{кг}$ гранулированного шлака, $(30 \pm 30\%)$,

X_4 – температура изотермической выдержки твердения бетона $(50 \pm 30^\circ \text{C})$.

Тепловая обработка твердеющих бетонов проводилась по режиму $2+2+6+2 = 12$ часов, при времени изотермической выдержки равном 6 часов.

В качестве заполнителей использовался гранитный щебень крупностью 5-20 мм и карьерный песок Никитовского карьера с модулем крупности 2.7. Во все смеси вводилась добавка суперпластификатор С-3 в количестве 1% от массы цемента.

Определялась прочность материала в возрасте 3-х и 28-ми суток. Все исследования проводились на двух аналогичных сериях образцов: с применением механоактивации вяжущего длительностью 60 сек в трибоактиваторе (индекс «а»), и приготовленной по традиционной технологии, т.е. контрольной (индекс «к»). Все смеси имели равную подвижность $ОК = 6 \pm 1 \text{ см}$ [6].

По результатам определения прочности в 25-ти экспериментальных точках были построены ЭС-модели влияния факторов на прочность при сжатии бетона в возрасте 3-х суток, соответственно для составов на активированном вяжущем и контрольных:

$$\begin{aligned} f_{ck, cube, 3, a} = & 28.4 + 4.1x_1 - 2.6x_1^2 + 0.8x_1x_2 - 0.4x_1x_3 + 2.6x_2 + 0.4x_2x_3 + 0.6x_2x_4 - 2.5x_3 + 8.2x_4 - 1.5x_4^2 \end{aligned} \quad (1)$$

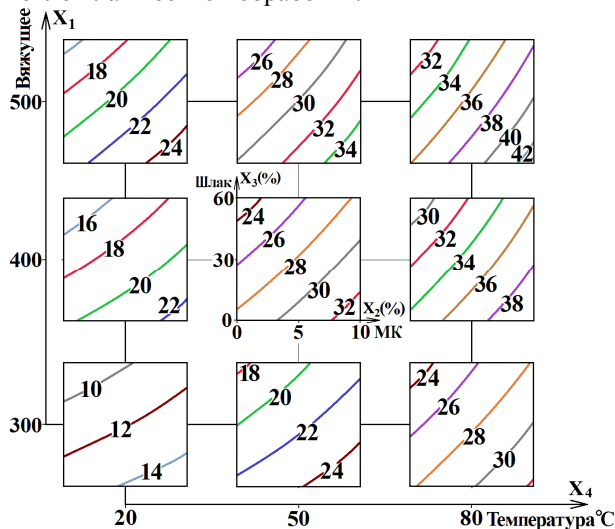
$$\begin{aligned} f_{ck, cube, 3, k} = & 22.4 + 3.3x_1 - 2.0x_1^2 + 0.7x_1x_2 - 0.4x_1x_3 + 0.4x_1x_4 + 2.1x_2 + 0.4x_2x_3 + 0.5x_2x_4 - 1.8x_3 + 7.3x_4 - 1.0x_4^2 \end{aligned} \quad (2)$$

По данным ЭС-моделям были построены диаграммы типа «квадраты на квадрате», показанные соответственно на рис.1.а и рис.1.б. В качестве несущего квадрата выбраны факторы – количество вяжущего (x_1) и температура изотермической выдержки (x_4). Поля, отображающие влияние доли микрокремнезема (x_2) и доменного шлака (x_3), построены в девяти точках.

Анализ показанных на рисунке диаграмм позволяет сказать, что как для активированных, так и для контрольных составов по мере увеличения количества вяжущего возрастает влияние доли молотого гранулированного шлака на раннюю прочность бетона. Аналогично

большее влияние доли шлака проявляется для бетонов, твердевших с применением тепло-влажностной обработки.

(а)



(б)

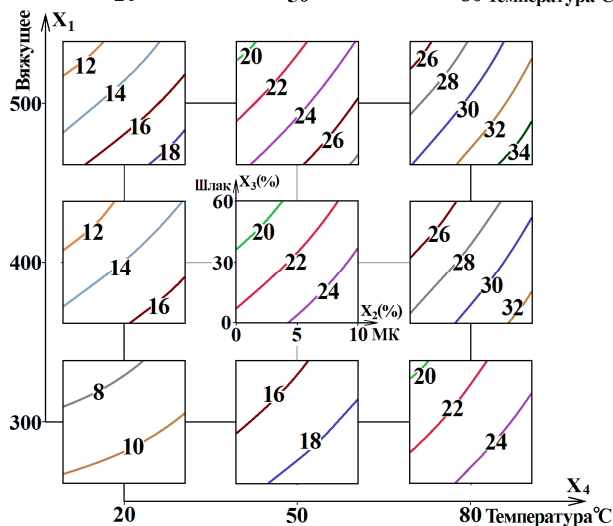


Рис.1. Влияние варьируемых факторов состава на прочность бетона в возрасте 3-х суток; а - на активированном композиционном вяжущем, б – приготовленных по традиционной технологии

Эффективность применения микрокремнезема зависит от суммарного количества вяжущего и режима твердения бетона. При

твердении в нормальных условиях за счет введения 10% микрокремнезема прочность бетона возрастает приблизительно на 2 МПа (16..22%) для составов с количеством вяжущего 300 кг/м³, и приблизительно на 4 МПа (18..26%) при использовании 500 кг/м³ вяжущего. В бетонах, твердевших при температуре 50°C, введение микрокремнезема позволяет повысить прочность в возрасте 3-х суток на 3..5 МПа (в зависимости от количества вяжущего), а в бетонах, твердевших при температуре 80°C – на 4..6 МПа.

Эффективность тепло-влажностной обработки также зависит от количества вяжущего. При минимальном его количестве (300 кг/м³) за счет повышения температуры изотермической выдержки до 80°C прочность бетона в возрасте 3-х суток повышается на 14..16 МПа для активированных составов и на 12..14 МПа для контрольных. При количестве вяжущего 500 кг/м³ повышение температуры до 80°C увеличивает прочность соответственно на 17..19 МПа и на 15..17 МПа.

Важно отметить, что для бетонов на композиционном вяжущем тепло-влажностная обработка показывает достаточно высокую эффективность уже при температуре изотермической выдержки 50°C. Так составы на активированном вяжущем после выдержки при 50°C показывают на 9..11 МПа большую прочность в возрасте 3-х суток по сравнению с образцами нормального твердения. Для образцов, приготовленных по традиционной технологии, аналогичный рост прочности составляет 8..10 МПа. Механическая активация вяжущего позволяет дополнительно повысить прочность бетона в возрасте 3-х суток на 4..8 МПа в зависимости от его состава. При этом активация более эффективна для бетонов с количеством вяжущего 400-500 кг/м³.

Таким образом, за счет использования активированного композиционного вяжущего можно получить бетоны с высокими показателями прочности уже в ранние сроки твердения. За счет перехода к композиционным цементам повышается эффективность применения шлака в вяжущем. Механическая активация показывает высокую эффективность при изготовлении бетонов на композиционном вяжущем. В случае необходимости дополнительного ускорения скорости набора прочности бетонов на композиционном вяжущем, в том числе механоактивированном, эффективно применение тепло-влажностной обработки. Причем с учетом необходимости экономии энергоресурсов температуру изотермической выдержки при обработке бетона может быть ограничена 50°C.

Анализ свойств исследованных бетонов на композиционных вяжущих в возрасте 28-ми суток показал, что их прочностные характеристики изменялись в очень широких пределах – от 28 до

63 МПа для активированных составов и от 23 до 57 МПа для контрольных. Наибольшее влияние на величину прочности бетонов оказывает количество вяжущего. Составы с количеством вяжущего 500 кг/м³ имеют уровень $f_{ck,cube}$ на 17..21 МПа выше по сравнению с составами с количеством вяжущего 300 кг/м³.

Введение в композиционное вяжущее 10% микрокремнезема увеличивает прочность бетона на 5..8 МПа, причем более ощутимо для составов с увеличенным количеством молотого шлака. Замена части клинкерной составляющей молотым гранулированным шлаком, естественно, снижает прочность бетона. Однако для составов на активированном вяжущем при использовании до 30% шлака снижение прочности на 28-е сутки составляет не более 3..4 МПа по сравнению с составами без шлака. При использовании 60% шлака прочность снижается на 8..9 МПа по сравнению с клинкерным вяжущим.

Важно отметить, что благодаря использованию композиционного вяжущего снижение прочности в результате применения доменного шлака в качестве наибольшего по удельной доле компонента может быть полностью компенсировано за счет введения обладающего пуццолановой активностью микрокремнезема. Прочность бетонов на вяжущем, в котором использовано 50..60% техногенного отхода и 10% микрокремнезема не ниже прочности бетонов на чистом клинкерном вяжущем. При этом эффективность использования пуццоланы несколько выше в составах с меньшим количеством вяжущего – 300..400 кг/м³. При таком количестве вяжущего марочная прочность составов на композиционном цементе, содержащем 60% шлака, равна или несколько выше прочности составов на чистом клинкерном цементе. При большем количестве вяжущего (450..500 кг/м³) бетоны на композиционном вяжущем с содержанием шлака 45..50% имеют прочность аналогичную бетонам на клинкерном цементе. Таким образом, композиционное вяжущее является эффективным и обеспечивающим необходимые прочностные характеристики бетона и в ранние сроки твердения и в марочном 28-ми суточном возрасте.

Также необходимо отметить, что эффективность применения механоактивации вяжущего сохраняется и в 28-ми суточном возрасте. Бетоны на активированном вяжущем показывают на 4..6 МПа большую прочность по сравнению с бетонами аналогичных составов, приготовленными по традиционной технологии. Данное улучшение качественных показателей материала объясняется, во-первых, меньшим В/Ц смесей, приготовленных на активированном композиционном цементе, во-вторых, повышением химического

потенциала компонентов композиционного вяжущего в результате трибомеханоактивации.

Заклучение

Таким образом, за счет использования активированного композиционного вяжущего можно получить бетоны с высокими показателями прочности, в том числе в ранние сроки твердения, а также повысить эффективность применения шлака в вяжущем. Для бетонов на композиционном вяжущем высокую эффективность показала механическая активация. При необходимости дополнительного ускорения скорости набора прочности бетонов на композиционном вяжущем эффективно применение тепловлажностной обработки. Важно отметить, что с учетом необходимости экономии ресурсов температура изотермической выдержки при обработке бетона может быть ограничена 50°C. Полученные вяжущие значительно повышают эффективность применения отходов металлургической промышленности за счет механоактивации и рационального подобранного состава композиционного цемента.

SUMMARY

Effective composite cements developed. Metallurgical industry waste applied. Activation increases the strength of cement concrete. Strength is increased at the age of 3 days and 28 days. Perhaps due to the acceleration of hardening heat treatment.

1. Соболь Х.С. Концепція застосування модифікованих композиційних цементів у будівельному виробництві / Х.С. Соболь // Вісник національного ун-ту «Львівська політехніка». – 2004. - №520. – С.179-182.

2. Фесенко В.А. Микрокремнезем как активная минеральная добавка / В.А. Фесенко // Химические и минеральные добавки в бетон. Под. ред. А.Б. Ушеров-Маршака – Харьков: Колорит, 2005. – С.57-60.

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

4. Барабаш И.В. Влияние микрокремнезема и молотого шлака на свойства композиционных цементов/ И.В. Барабаш, Н.А. Зубченко// Ресурсоекономі матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Випуск 26. – Рівне: НУВГП, 2013. – С.25-30.

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. 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.

