

СТРОИТЕЛЬСТВО

МРНТИ 67.15.33

С.А.Монтаев¹, М.Ж.Рыскалиев¹, С.М.Маликова¹

¹Западно-Казахстанский аграрно-технический университет
им. Жангир хана, г. Уральск, Казахстан

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦЕМЕНТНО-ШЛАКОВОГО ВЯЖУЩЕГО В ПРОИЗВОДСТВЕ ПЕНОБЕТОНА*

Аннотация. Показано, что цементно-шлаковое вяжущее, активированное в агрегате ударного действия, характеризуется высоким, равномерно распределенным содержанием «товарной» фракции частиц от 15 до 40 мкм, т. е. фракционный состав более узкий в сравнении с частицами вяжущего вещества, активированного в шаровой мельнице. В результате ударного измельчения частицы цементно-шлакового вяжущего приобретают осколочную или «щебеночную» форму с острыми углами и сильно развитой конфигурацией, которая способствует их более интенсивному взаимодействию с водой, что, в свою очередь, позволяет говорить о повышении физико-химической активности цементно-шлакового вяжущего. С целью сокращения начала схватывания и твердения пенобетона в ранние сроки времени введены добавки-ускорители твердения пенобетона. В качестве таких добавок испытаны химические добавки «МБ-01» и «Акватрон-8».

Ключевые слова: цементно-шлаковое вяжущее, физико-химическая активность, добавки-ускорители, пенобетон.



Түйіндеме. Оқпалы әрекет ететін агрегатта белсендірілген цемент-қожды байланыстырғыш заты біркелкі таралған 15 тен 40 мкм-ге дейін «тауарды» фракциясы бөлшектерімен сипатталады, яғни шарлық диірменде белсендірілген байланыстырғыш зат бөлшектерімен салыстырғанда фракциялық құрамы анағұрлым майда екендігі көрсетілген. Соқпалы ұнтақтау нәтижесінде цемент-қожды байланыстырғыш заттың бөлшектері тікепті немесе «щепень тәріздес» жақсы дамыған конфигурациясы бар сүйір бұрышты пішінге ие болады. Бұл жағдай оның сумен интенсивті әрекеттесуіне және

* Грантовое финансирование научных исследований Министерства образования и науки Республики Казахстан.

физикалық-химиялық белсенділігін арттыруына ықпалын тигізеді. Қысқа мерзім ішінде көбікбетонның ұстасып қатаюу уақытын азайту мақсатында біз көбікбетон қатаюын тездететін қоспаларды пайдаландық. Мұндай қоспа ретінде «МБ-01» және «Акватрон-8» химиялық қоспалары сыналды. Кілт сөздер: цемент-қожды байланыстырғыш, физикалық-химиялық белсенділік, тездеткіш қоспалар, көбікбетон.



Abstract. Shown, that activated in the assembly percussion slag cement binder characterized by a high uniformly dispersed content marketable particles fractions from 15 until 40 μm , that is to say fractional composition is narrower in comparison with particles of binder, that activated in a ball mill. As a result, impact grinding particles of slag cement binder acquire fragmentation or «crushed rock» form with sharp angles and well-developed configuration, what promotes their more intensive interaction with water, what in its turn, It suggests about is increasing physico-chemical activity slag cement binder. For reduce the time of initial setting time and hardening of foam concrete. As such additives, were tested chemical additives «МБ-01» and «Акватрон-8».

Key words: slag cement binder, physico-chemical activity, boosters-additives, foam concrete.

Введение. Одним из наиболее эффективных материалов, применяемых в настоящее время в ограждающих конструкциях, являются пенобетоны, изготовленные с применением в качестве вяжущего вещества портландцемента марок 400-500 и в качестве кремнеземистого компонента – природного песка. Пенобетон и технология его получения известны еще с конца XIX в. впервые получены в Германии при смешивании цементно-известкового раствора с бычьей кровью (прообраз нынешних белковых пенообразователей). Бурный рост цен на энергоносители и развитие строительной отрасли в конце XX в. обусловили возобновление разработок по механохимической активации и модификации сырьевых компонентов для производства пенобетона в Европе, а к началу нынешнего века – в России и Казахстане [1].

Первое крупномасштабное промышленное производство пенобетона было налажено в Швеции, где в настоящее время его потребление составляет более 40 млн. м^3 в год. Ведущими производителями пенобетона в Европе являются Польша (45 % европейской продукции), Германия (35 %) и Чехия (11 %) [2]. В сегменте пенобетона на территории Казахстана производство

составляет около 400 тыс. м³ в год, доля применения на застройках страны – 27 %. Изделия из пенобетона используются в гражданском (преимущественно жилищном) и в промышленном строительстве практически на всех континентах, независимо от климатических условий и зон сейсмичности [3].

Острый дефицит портландцемента, став актуальной проблемой современного строительства, создает предпосылки для новейших разработок в практике производства строительных материалов по ресурсосберегающим технологиям с целью повышения качества и удовлетворения возрастающего спроса.

В начале 90-х гг. специалисты института «ВНИИСТРОМ им. П.П.Будникова» и некоторых других организаций предложили технологию пенобетонов, которая, заключается в механо-химической подготовке сырьевой смеси, предусматривающей обработку увлажненной цементно-кремнеземистой смеси в агрегатах истирающего действия и позволяющей улучшить реологические характеристики пенобетона, повысить реакционную способность твердеющей пенобетонной системы [4].

Аналогичные работы по механохимической активации вяжущего в купе с доменным шлаком проводились и зарубежными исследователями. Так, в работе [5] размолотый гранулированный доменный шлак (GGBS) был активирован щелочными активаторами: 10 % Ca (OH)₂ и 4 % Mg (NO₃)₂, 5 % Ca (OH)₂ и 6,5 % Na₂SiO₃ и 2,5 % Ca (OH)₂ и 6,5 % Na₂SiO₃. Содержание блока связующего варьировалось в бетонных смесях, соответствующих каждому типу активатора.

Результаты исследований австралийских ученых показали целесообразность использования щелочного активированного цемента в качестве связующего в пенобетоне вместо обычного портландцемента, что обеспечивает прочность при низкой плотности. Доказана возможность изготовления щелочного активированного пенобетона с использованием тех же процедур и оборудования по сравнению с «классическим» способом, разработанным для производства пенобетона, содержащего портландцемент [6].

В работах сингапурских и японских ученых по изучению влияния доменного шлака в качестве связующего и наполнителя на свойства свежееуложенного и затвердевшего пенобетона были использованы зола-унос класса F и смесь из необработанного доменного шлака плотностью 1300 кг/м^3 при содержании (2 части песка и 1 части цемента), в/ц отношение 0,45 [7]. Установлено, что у пенобетонов на основе смеси, содержащей шлак, достигается более высокая прочность на сжатие (6,31 МПа на 28-е сутки), чем у контрольной смеси при том же возрасте (5,81 МПа). Кроме того, сочетание шлака и золы-уноса в качестве замены цемента увеличивает прочность на сжатие. Необработанный шлак является хорошим пуццоланом, что может быть использовано в качестве альтернативы для производства пенобетона.

Зарубежные исследователи (Китай, Малайзия, Корея) изучали использование золы-уноса для производства пенобетона, способствующего повышению прочности [8-10]. Рациональное использование золы в пенобетоне может привести к более высокому отношению прочности к плотности [11] и уменьшить пиковую температуру за счет его более низкого объема удельной теплоты [12]. Тем не менее сравнительно мало сообщалось об использовании электротермофосфорных шлаков в качестве замены вяжущего материала в производстве ячеистого бетона [13]. В настоящее время объемы строительства стремительно растут, поэтому дефицит портландцемента ощущается особенно остро. В создавшейся ситуации, когда только для поверхностного удовлетворения постоянно растущего спроса необходимо увеличить производство до 80-90 млн. т, даже крупным потребителям приходится мириться зачастую с крайне низкой изначальной активностью портландцемента и приобретать материал, единственное достоинство которого – наличие на складе.

Методы исследования. В современных пенобетонах расход цемента достаточно высок и находится в пределах 350 кг/м^3 и более. Снизить расход цемента можно совместным измельчением гранулированного электротермофосфорного шлака, который содержит все элементы, присущие портландцементу.

Предварительными исследованиями установлено, что эффект механической активации зависит от минералогического состава цемента, в частности, он увеличивается в случае высокоалюминатных цементов. Однако известно, что тонкомолотые вяжущие вещества, в том числе и ВНВ, обладают низким клинкерным фондом, что может в дальнейшем отразиться на долговечности материала. Известно, что многие свойства вяжущего вещества, в том числе его активность, скорость твердения и др., определяются не только химическим и минералогическим составом клинкера и шлака, но и в большой степени тонкостью помола продукта, его гранулометрическим составом и формой частичек порошка [14].

Следует отметить, что активность цементного порошка, его зерновой состав, форма зерна в основном зависят от вида помольного агрегата. Так, в шаровых мельницах на полезную работу измельчения расходуется не более 1,5-10 % всей подводимой энергии. Остальная часть энергии переходит в безвозвратно теряемое тепло или, другими словами, расходуется впуск [15].

В случае, если приготовление и активация вяжущего с добавкой электротермофосфорного шлака производится на местах его непосредственного использования, например на предприятии по выпуску пенобетонных изделий, именно от правильного выбора типа помольного агрегата будет зависеть экономическая целесообразность работ по активации цементно-шлакового вяжущего [16]. Иными словами, барабанные шаровые мельницы, традиционно используемые в производстве, не могут быть использованы при производстве цементно-шлакового вяжущего вещества на предприятиях малой и средней мощности.

Продукту, измельченному в шаровых мельницах, свойственен весьма разнообразный гранулометрический состав. Он представлен мелкими частицами размером менее 5 мкм, незначительным количеством частиц основной «товарной» фракции (5-40 мкм) и крупными частицами, размер которых в десятки раз превышает размер «товарной» фракции. При этом процентное

отношение частиц каждой фракции изменяется в зависимости от вида мельницы, размера мелющих тел, формы бронеплит в шаровых мельницах, а также от соотношения между длиной и диаметром мельниц. Следовательно, для шаровых мельниц характерна низкая избирательность измельчения, что проявляется в отсутствии возможности регулирования гранулометрического состава полученного продукта в плане получения размеров частиц средней, наиболее важной фракции цементного порошка с размерами 20-40 мкм [17].

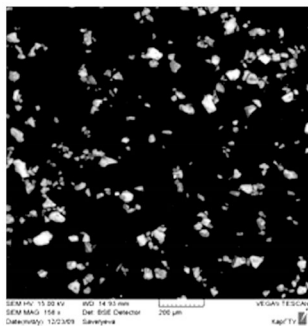
Отсутствие возможности повлиять на гранулометрический состав цементного порошка при помоле в шаровых мельницах практически не оставляет надежды на получение материала, повышение активности которого в начальные сроки твердения не оборачивалось бы снижением прочности и морозостойкости в последующем [18].

Метод ударного измельчения цементно-шлакового зерна, напротив, характеризуется достаточно узкой гранулометрией. Процентное содержание в порошке частиц средней фракции при измельчении материала методом свободного удара гораздо выше, нежели при других способах помола, что объясняется прежде всего высокой избирательностью измельчения методом свободного удара.

Результаты исследования. Цементно-шлаковое вяжущее, активированное в агрегате ударного действия, характеризуется высоким, равномерно распределенным содержанием «товарной» фракции частиц от 15 до 40 мкм, т. е. фракционный состав более узкий в сравнении с частицами вяжущего вещества, активированного в шаровой мельнице.

На основании проведенных исследований приходим к выводу, что только при использовании агрегатов ударного действия становится возможным повышение активности цементно-шлакового вяжущего наиболее дешевым и рациональным способом.

В результате ударного измельчения частицы цементно-шлакового вяжущего приобретают осколочную или «щебеночную» форму с острыми углами и сильно развитой конфигурацией, которая способствует их более интенсивному взаимодей-



Микрофотография цементно-шлакового вяжущего из случайным образом выбранного участка на образце площадью 462,4 мкм²

высокой гидравлической активностью и достаточным клинкерным фондом.

Обсуждение результатов. С целью выяснения вяжущих свойств приготовленного цементно-шлакового вяжущего (цемент:шлак = 1:1) были проведены исследования его основных физико-технических свойств, которые представлены в табл. 1.

Судя по данным табл. 1, сроки начала и конца схватывания цементно-шлаковых вяжущих имеют почти такие же пока-

ствию с водой, что, в свою очередь, позволяет говорить о повышении физико-химической активности цементно-шлакового вяжущего (рисунок) [19]. В то время как цементные зерна, полученные при активации в шаровой мельнице, имеют окатанную (шаровидную) форму, поэтому их активность (при одинаковом зерновом составе) ниже активности, вяжущего прошедшего обработку в агрегате ударного действия (рис.).

Видно, что частицы цементно-шлакового вяжущего имеют щебневидную форму с размерами частиц около 20 мкм, следовательно, они обладают

Таблица 1

Физико-технические свойства цементно-шлакового вяжущего вещества

| Цементно-шлаковое вяжущее, содержащее (50 % шлака) | Удельная поверхность, см ² /г | Нормальная густота цементного теста, % | В/Ц раствора 1 : 3 | Сроки схватывания, ч-мин. | | Предел прочности через 28 сут., МПа | |
|--|--|--|--------------------|---------------------------|-------|-------------------------------------|-----------|
| | | | | начало | конец | на изгиб | на сжатие |
| Цемент новотроицкий | 5520 | 25,7 | 0,41 | 2-20 | 7-15 | 7,7 | 56,1 |

затели, как сроки начала и конца схватывания обычных цементов. При этом активность этих вяжущих, соответствует марке 500-550.

Таблица 2

Физико-механические свойства цементно-шлаковых вяжущих веществ с добавками-ускорителями твердения

| Цементно-шлаковое вяжущее, содержащее 50% шлака | Вид и концентрация добавок, % | Нормальная густота цементного теста, % | В/Ц раствора 1 : 3 | Сроки схватывания, ч-мин. | | Предел прочности через 28 сут., МПа | |
|---|-------------------------------|--|--------------------|---------------------------|-------|-------------------------------------|------------|
| | | | | начало | конец | при изгибе | при сжатии |
| Новотроицкий | «МБ-01» – 0,5 | 20,4 | 0,32 | 1-56 | 7-05 | 8,9 | 66,2 |
| | то же – 1,0 | 20,2 | 0,30 | 1-35 | 6-45 | 9,1 | 66,8 |
| | то же – 1,5 | 20,1 | 0,29 | 1-15 | 6-10 | 9,4 | 69,5 |
| | «Акватрон-8» | | | | | | |
| | – 0,5 | 25,6 | 0,40 | 1-15 | 6-20 | 9,2 | 67,9 |
| | то же – 1,0 | 25,5 | 0,38 | 1-05 | 5-55 | 9,4 | 69,5 |
| то же – 1,5 | 25,3 | 0,36 | 0-55 | 5-15 | 9,7 | 70,3 | |

Доказано, что белковый пенообразователь существенно удлиняет сроки начала и конца схватывания цемента (на 60 мин. и более) [20-22]. Данное обстоятельство оказывает значительное влияние на свойства пенобетонных смесей, т. е. может вызвать ее осадку в формах и вследствие этого повысить заданную (расчетную) плотность пенобетона. С целью сокращения сроков начала схватывания и твердения пенобетона в ранние сроки введены добавки-ускорители твердения пенобетона. В качестве таких добавок были испытаны химические добавки МБ-01 и «Акватрон-8». Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Выводы. Практика приготовления пенобетона показала, что время перемешивания пенобетонной смеси в бетономешалке составляет примерно 7-10 мин., а время выгрузки смеси из пе-

нобетонмешалки и распределения ее в формах находится в пределах 15-20 мин. На основании этого полагаем целесообразным введение добавки «Акватрон-8» в концентрации 1,0 % от массы цемента, что более выгодно с экономической точки зрения. Таким образом, считаем, что активированное в агрегатах ударного действия шлаковое цементно-вяжущее с добавкой 50 % шлака вполне пригодно для изготовления пенобетонов нормального твердения.

Список литературы

1 Шахова Л.Д., Рахимбаев Ш.М., Черноситова Е.С., Самборский С.А. Роль цемента в технологии пенобетонов // Строительные материалы. – 2005. – № 1. – С. 42-44.

2 Сахаров Г.П. Альтернативные технологии ячеистого бетона // Технология бетонов. – 2007. – № 5. – С. 56-58.

3 Чумакин Е.Р. Энергосберегающий пористый бетон XXI века // Там же. – С. 26.

4 Медведев М.Б. Экономические аспекты производства пенобетона методом баротехнологии // Строительные материалы. – 2007. – № 4. – С. 46-48.

5 Keun-Hyeok Yang, Kyung-Ho Lee, Jinkyu Song, Min-Ho Gong. Properties and sustainability of alkali-activated slag foamed concrete // Journal of Cleaner Production. – 2014. – № 4. – P. 226-233.

6 Kovtun M., Kearsley E. Alkali-Activated Foamed Concrete. Conference: Concrete. Proceedings of the 27th Biennial National Conference of the Concrete Institute of Australia in conjunction with the 69th RILEM Week «Construction Innovations, Research into Practice», At Melbourne, Australia. – 2015. – P. 1139-1145.

7 Aljournaily Z.S., Noordin N., Awang H., Almuali M.Z. The Effect of Blast Furnace Slag on Foam Concrete in Terms of Compressive Strength // Advanced Materials Research. – 2012. – Vol. 587. – P. 81-87.

8 *Kearsley E.P., Wainwright P.J.* The effect of high fly ash content on the compressive strength of foamed concrete // *Cem. Concr. Res.* – 2001. – Vol. 31. – P. 105-112.

9 *Jones M.R., Mc Carthy A.* Preliminary views on the potential of foamed concrete as a structural material // *Mag. Concr. Res.* – 2005. – Vol. 57. – P. 21-31.

10 *Kearsley E.P., Wainwright P.J.* Ash content for optimum strength of foamed concrete // *Cem. Concr. Res.* – 2002. – Vol. 32. – P. 241-246.

11 *Nambiar E.K.K., Ramamurthy K.* Influence of filler type on the properties of foam concrete // *Cem. Concr. Res.* – 2006. – Vol. 28. – P. 475-480.

12 *Jones M.R., McCarthy A.* Heat of hydration in foamed concrete: Effect of mix constituents and plastic density // *Cem. Concr. Res.* – 2006. – Vol. 36. – P. 1032-1041.

13 *Yang K.-H., Lee K.-H., Song J.-K., Gong M.-H.* Properties and sustainability of alkali-activated slag foamed concrete // *J. Clean. Produc.* – 2014. – Vol. 68. – P. 226-233.

14 *Noorlander A.* Reducing the Shrinkage of Calcium-Silicate bricks, International Symposium on Autoclaved Calcium Silicate Building Products. – London, 1965. – 156 p.

15 *Хунт И.А.* Основы производства силикальцитных изделий. – Л.; М.: Госстройиздат, 1962. – 601 с.

16 *Derdaka A.* Aktywacja syntetycznyck zuzli alkaliami (zuzlo-cement) // *Cement, warpo, Gips.* – 1980. – № 8-9. – P. 217-220.

17 *Шахова Ж.Д.* Некоторые аспекты исследований структурообразования ячеистых бетонов неавтоклавного твердения // *Строительные материалы. Наука.* – 2003. – № 2. – С. 4-7.

18 *Сидоренко Ю.В., Коренькова С.Ф.* Основы формирования оптимальной структуры теплоизоляционных неавтоклавных пенобетонов // *Популярное бетоноведение.* – 2007. – № 5. – С. 93-95.

19 *Kalousek C.L.* Тоберморит и исходные фазы в системе CaO – SiO₂ – H₂O // *Journal of the American Concrete Institute.* – 1995. – № 26 (10). – P. 55.

20 *Шинтемиров К.С., Орынбеков С.Б., Шинтемиров Т.К., Увайсова Х.М.* Пенообразователь для производства пенобетонов // *Предварительный патент РК № 5921.*

21 Шинтемиров К.С., Соловьев В.И., Челекбаев А.М. и др. Пенообразователь для производства пенобетонов // Предварительный патент РК № 11407.

22 Kalousek C.L. Studies on the Cementitious Phases of Autoclaved Concrete Products Made of Different Raw Materials // Journal of the American Concrete Institute. – 1954. – Vol. 25, № 5. – 156 p.

Монтаев Сарсенбек Алиакбарұлы, доктор технических наук, профессор, e-mail: montaevs@mail.ru

Рыскалиев Муратбай Жанайдарович, PhD, e-mail: muratbai_84@mail.ru

Маликова Светлана Маликовна, магистр технических наук, старший преподаватель, e-mail: s.malikova1982@mail.ru