

Строительные материалы и изделия

УДК 666.948.4 +666.974.2 +691.327.332

ГЛИНОЗЕМИСТЫЕ ВЯЖУЩИЕ НА ОСНОВЕ ШЛАКА АЛЮМИНОТЕРМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ФЕРРОТИТАНА И ЯЧЕИСТЫЕ БЕТОНЫ НА ИХ ОСНОВЕ

В.А. Абызов, С.Н. Черногорлов

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

На основе глиноземистого цемента, шлака алюминотермической выплавки ферротитана и добавок суперпластификаторов на основе эфиров поликарбоксилатов (РСЕ) разработано модифицированное глиноземистое вяжущее. Изучены методами физико-химического анализа особенности гидратации вяжущего в присутствии данных добавок. Показано, что в начальные сроки твердения (3–7 сут) скорость гидратации алюминатов кальция в различной степени снижается под действием суперпластификаторов на основе РСЕ. Выявлены добавки, в наименьшей степени замедляющие твердение, установлены их оптимальные дозировки. Исследовано влияние данных добавок на свойства вяжущего. Получено модифицированное вяжущее с повышенной огнеупорностью (1520–1550 °С). Показано, что применение суперпластификаторов на основе РСЕ обеспечивает вяжущему, содержащему шлак алюминотермической выплавки ферротитана, высокие прочностные показатели. На основе разработанного вяжущего, шамотного и огнеупорного заполнителя получены жаростойкие ячеистые бетоны с температурой применения до 1300 °С.

Ключевые слова: жаростойкий ячеистый бетон, высокоглиноземистый цемент, глиноземистый цемент, модифицированное глиноземистое вяжущее, шлак алюминотермического производства, шлак ферротитана, суперпластификатор на основе эфиров поликарбоксилатов, жаростойкие свойства, огнеупорность, гидратация алюминатов кальция, гидроалюминаты кальция.

В последней трети XX века наметилась устойчивая тенденция вытеснения в футеровках тепловых агрегатов штучного огнеупора жаростойкими и огнеупорными бетонами. Применение бетонов ускоряет монтаж, снижает трудоемкость работ, позволяет использовать крупные изделия сложной формы. Наибольшее распространение получили бетоны на глиноземистом (ГЦ) и высокоглиноземистом (ВГЦ) цементах [1–8]. В настоящее время на российском рынке, помимо импортных материалов, представлены глиноземистый цемент (ГЦ) производства Пашийского цементно-металлургического завода (табл. 1) и высокоглиноземистый цемент (ВГЦ) «ИЦ АС Теплострой», отличающиеся быстрым твердением и вы-

сокой прочностью. Недостатками данных вяжущих являются высокая стоимость и энергоемкость производства. Одним из направлений расширения сырьевой базы для производства ГЦ и ВГЦ является применение шлаков алюминотермического производства [1–7].

На Урале на основе шлака алюминотермической выплавки металлического хрома и ферротитана выпускают клинкеры высокоглиноземистого цемента (КВЦ 70 и 75), а также собственно шлаки (плавленные продукты) под марками ППГ-65, 70 и 75 (табл. 1) [9, 10]. Данные клинкеры представляют собой продукт переплава шлака и являются достаточно дорогими продуктами.

Известен положительный опыт использования

Таблица 1

Глиноземистые шлаки и клинкеры Ключевского завода ферросплавов

Марка	Химический состав, %							
	Al ₂ O ₃	CaO	Cr ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂	FeO	MgO	C
	В пределах			Не более				
ППГ-65	56–70	10–24	0–0,2	20	2,0	3,0	5,0	–
ППГ-65К	60–70	20–25	–	11	1,0	1,5	5,0	0,2
КВЦ-75	75–80	17–22	–	–	0,5	1,0	3	–
КВЦ-70	70–75	17–22	–	–	1,0	1,0	4	–
ГЦ	38–65	25–35	–	–	до 15	1,0	–	–

Строительные материалы и изделия

различных тонкомолотых огнеупорных добавок в глиноземистых цементах [11–13]. Шлак ферротитана (ППГ-65, ППГ-65К) по содержанию глинозема близок к ГЦ, в связи с чем представляет значительный интерес как компонент, позволяющий заменить часть глиноземистого цемента (см. табл. 1). Наиболее перспективен продукт марки ППГ-65К – шлак ферротитана, обогащенный оксидом кальция [5–7, 10].

Целью данной работы является получение вяжущего на основе глиноземистого цемента и шлака алюминотермического производства, исследование особенностей его гидратации, а также разработка ячеистого жаростойкого бетона на данном вяжущем.

Так как шлак ферротитана обладает слабыми вяжущими свойствами, для повышения прочности в вяжущее целесообразно вводить водоредуцирующие добавки [14–17]. Применительно к ГЦ данный вопрос мало изучен, так как в чистом виде это вяжущее отличается быстрым твердением и высокой прочностью [14]. В данной работе были использованы цемент ГЦ 50 Пашийского завода, шлак ферротитана ППГ-65К и добавки на различной основе – ЛСТ, С-3 (СП-1) и Melflux 1641F, 2651F, PP200F (BASF Construction Polymers (Grostberg, Германия)). Было установлено, что наиболее эффективны добавки на основе эфиров поликарбоксилатов (РСЕ) – серии Melflux, их действие на гидратацию цемента ниже рассмотрим подробнее.

Состав цементного камня изучали методами дериватографии и рентгенофазовым анализом. На кривых ДТА (рис. 1) образцов цементного камня эндоэффекты соответствуют: при 70–100 °С – гексагональным гидросиликатам кальция (C_2AH_8), при 100–200 °С – CAH_{10} , при 250–300 °С – эффект от дегидратации гидраргиллита.

Эффект при 420–500 °С вызван превращением бемита в $\gamma-Al_2O_3$, при 500–520 °С наблюдается выделение воды из диаспора ($AlO(OH)$). Экзоэффект при 800 °С – образование корунда из γ -глинозема, при 900 °С – переход бемита в γ -глинозем. Эффекты от байерита – не обнаружены. В 3-суточном возрасте эффекты при 70–100 °С и 150 °С менее выражены. Это связано с потерей сорбционной воды к 7 сут. Увеличение потерь воды (примерно до 250 °С) вызвано образованием большого количества CAH_{10} . Общие потери воды на 20% выше, чем в суточном возрасте. К 7-суточному возрасту общие потери воды почти не отличаются от 3 сут, твердение в этот период протекает медленно.

При введении добавки Melflux 1641F в количестве 0,15 % общая картина остается прежней, однако до 300 °С потери воды ниже примерно на 25 %, то есть наблюдается замедленное образование CAH_{10} и дисперсных гидратов глинозема. Общие потери воды в 3-суточном возрасте также меньше. К 7 суткам твердения почти не выражен эффект при 70 °С, не формируется C_2AH_8 , обнаруживается только CAH_{10} .

При введении добавки Melflux 2651F в количестве 0,15 % в 3-суточном возрасте (рис. 2) потери воды до 250 °С составляют примерно 6,5 %, это ниже, чем с добавкой Melflux 1641F, меньше формируется CAH_{10} и гидратов глинозема. Сильный эндоэффект при 70 °С свидетельствует о повышенном количестве сорбционной воды и, возможно, сохранении в цементном камне C_2AH_8 . Во всех случаях C_2AH_8 не различим на рентгенограмме, хотя его эндоэффекты при 70 °С и 150–200 °С хорошо видны на дериватограмме. Заметно меньше потери воды в интервале 250–300 °С (бемит), ниже степень гидратации. На 3 сут цементный камень по составу соответствует материалу с 0,15 % Mel-

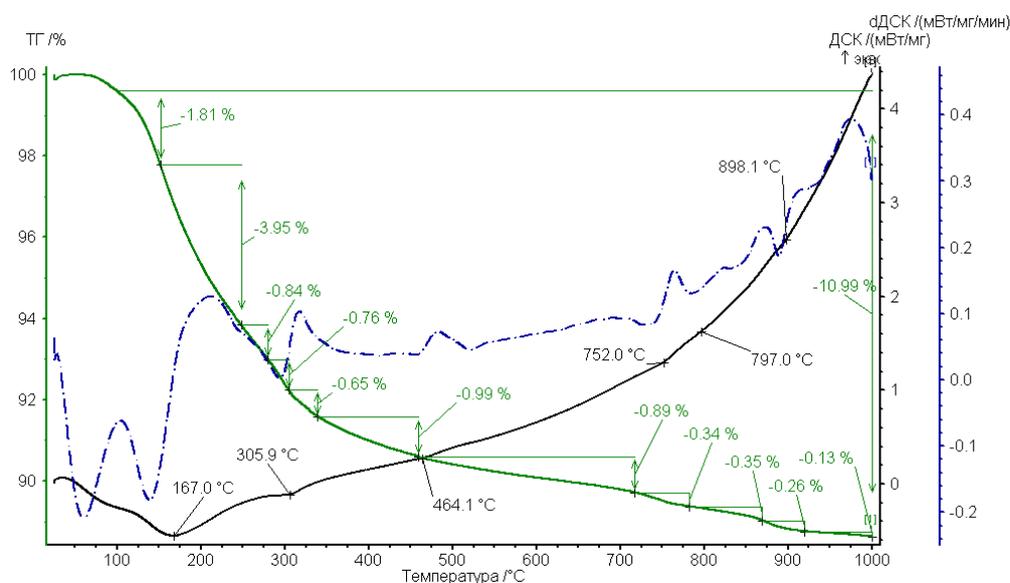


Рис. 1. ГЦ бездобавочный, нормальные условия твердения, в возрасте 1 сут.

flux 1641F на 7 сут. Эффект замедления гидратации добавкой Melflux 2651F более выражен.

К 7-суточному возрасту потери воды при 70–100 °С, 250–300 °С и общие соответствует цементному камню с добавкой Melflux 1641F (степень гидратации примерно одинакова). Однако она остается меньшей, чем в бездобавочном цементном камне. Увеличение количества добавки Melflux 2651F до 0,25% существенно замедляет гидратацию. При введении 1 % добавки небольшие потери воды в 1, 3 и 7 сут свидетельствуют о значительном замедлении гидратации.

Добавка Melflux PP200F значительно замедляет гидратацию и подробно не рассматривалась. Таким образом, эффективными для данного вяжущего будут добавки Melflux 1641F и Melflux 2651F в дозировках не выше 0,25 %.

В дальнейшем состав образцов цементного камня изучался рентгенофазовым анализом. Образцы цементного камня в суточном возрасте (рис. 3) представлен отражениями бонита CA_6 (2,64;1,55), металлического железа Fe (2,01;1,43), перовскита СТ (2,70;1,92), СА (2,97;2,50;2,44), CA_2 (3,50;2,60;4,45). Полностью гидратировался $C_{12}A_7$, следов которого не обнаружено, то есть в суточном возрасте он полностью гидратируется. Однако цемент имеет нормальное начало схватывания.

Продукты гидратации представлены многочисленными слабыми отражениями диаспора (4,02;2,12) и CAH_{10} (14,3;7,16) типичным для ранних сроков твердения гидроалюмината кальция. Отражения слабые, так как они плохо закристаллизованы (это подтверждается большой шириной пиков). Интенсивные отражения (2,01) и (1,40),

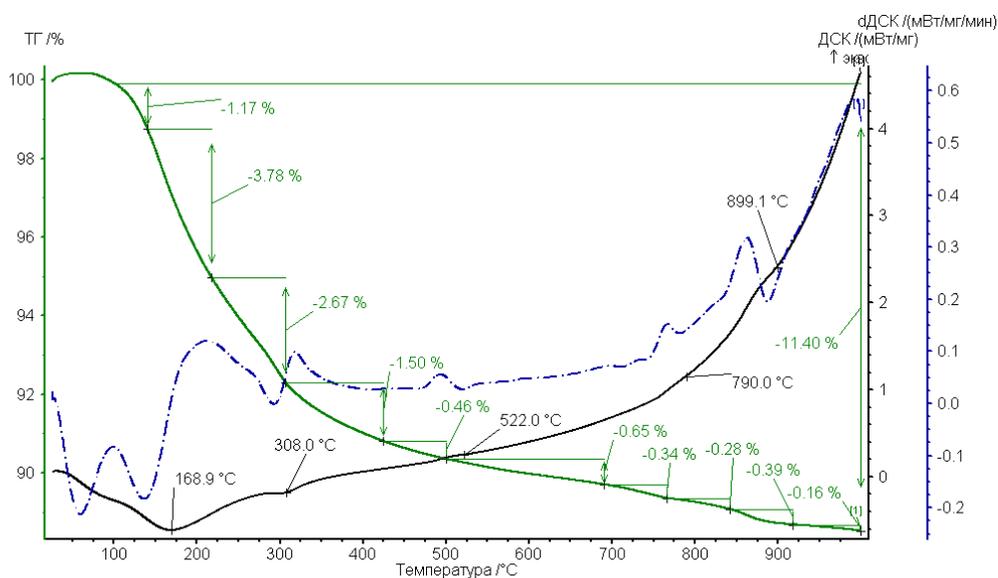


Рис. 2. ГЦ с добавкой Melflux 2651F в количестве 0,15 % в возрасте 3 сут.

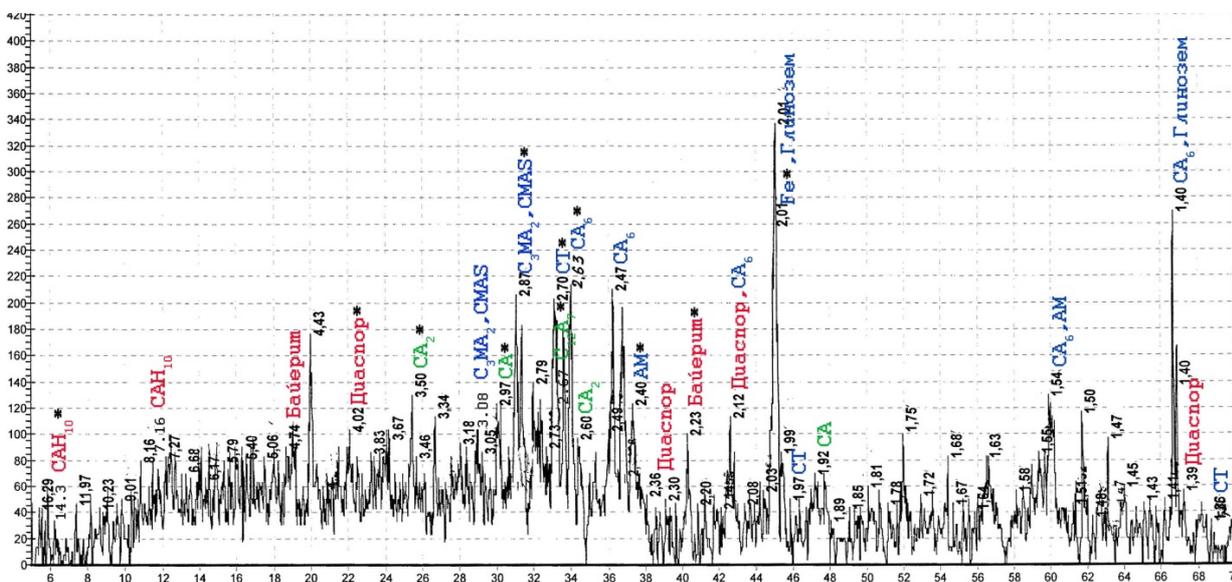


Рис. 3. Рентгенограмма образцов цементного камня (ГЦ) в возрасте 1 сут.

вероятно, принадлежат глинозему, который образовался при сушке образцов из диаспора. Отражение (2,23) однозначно принадлежит байериту.

В 3-суточном возрасте наблюдаются следующие отличия:

Резко падает интенсивность СА (2,97;2,50;2,44), СА₂ (3,50;2,60;4,45). Отражение (2,02) слабее, так как часть Fe переходит в гидроксиды. Значительно увеличиваются высота пиков диаспора, то есть гидратация интенсивно продолжается.

В 7-суточном возрасте слабеют интенсивности отражений СА (2,97;2,50;2,44), СА₂ (3,50;2,60;4,45). Хорошо видны отражения САH₁₀ (14,3;7,16), интенсивность их заметно выше, появляется бемит (6,11;3,16).

В 3-суточном возрасте при введении добавки Melflux 1641F (рис. 4) в небольшом количестве (0,15 %) в целом состав продуктов гидратации соответствует 3-суточному ГЦ без добавок. Однако отражения СА очень интенсивные (2,49), что свидетельствует о значительном замедлении гидратации. Нет отражений САH₁₀, что также свидетельствует о замедлении процессов и повышении степени аморфизации продуктов гидратации. Есть, как и на предыдущей рентгенограмме, слабые отражения C₁₂A₇ (2,67). Отражения (2,22) принадлежат байериту, таким образом, продукты гидратации представлены САH₁₀ и байеритом.

В 7-суточном возрасте образцов цементного камня с 0,15 % Melflux 1641F значительно отличается от 3 сут. Резко, почти в два раза, понижается высота отражения (2,50), которое принадлежит второстепенным отражениям бонита СА₆ и наложившимся на него отражениям гидратных фаз.

Продукты гидратации по-прежнему представляются байеритом, диаспором и САH₁₀. Сравнение бездобавочного и модифицированного добавками

цемента (в 3 и 7-суточном возрасте) показывает, что при введении добавки (0,15 %) Melflux 1641F степень гидратации несколько ниже, но состав продуктов гидратации тот же. В образцах бездобавочного цементного камня лучше закристаллизовались байерит и бемит.

При введении добавки (0,15 %) Melflux 2651F (рис. 5) состав продуктов гидратации идентичен, но интенсивность отражений и соответственно количество их резко отличается от бездобавочного цемента и цемента с (0,15 %) Melflux 1641F.

Интенсивность отражений САH₁₀ (14,3;7,16), бемита (14,3;7,16) и главным образом байерита (2,23;7,16) в случае использования добавки Melflux 2651F существенно выше, пики более четкие. Байерит метастабилен по отношению к гиббситу (гидраргилиту) и является самым неустойчивым продуктом гидратации. Наличие большого количества байерита свидетельствует о том, что добавка Melflux 2651F замедляет гидратацию и рентгенограмма фиксирует более раннюю стадию, когда еще повышен байерит.

Увеличение количества добавки Melflux 2651F до 1 % показывает в 1 и 7-суточном возрасте совершенно иную картину. В возрасте 1 сут отмечены сильные отражения байерита (2,21) и диаспора. Совершенно отсутствуют отражения САH₁₀, что может быть вызвано значительной аморфизацией. К 7 сут слабеют отражения байерита, что может быть связано с его переходом в бемит (3,16;1,84) и гиббсит (4,86; 4,37).

Таким образом увеличение дозировки добавки Melflux 2651F до 1 % в суточном возрасте сильно замедляет гидратацию, полностью меняя картину рентгенограммы, в 7-суточном возрасте почти нет диаспора, есть гиббсит (4,86;4,37), которого нет в без добавочном и с добавкой в количестве 0,15 %.

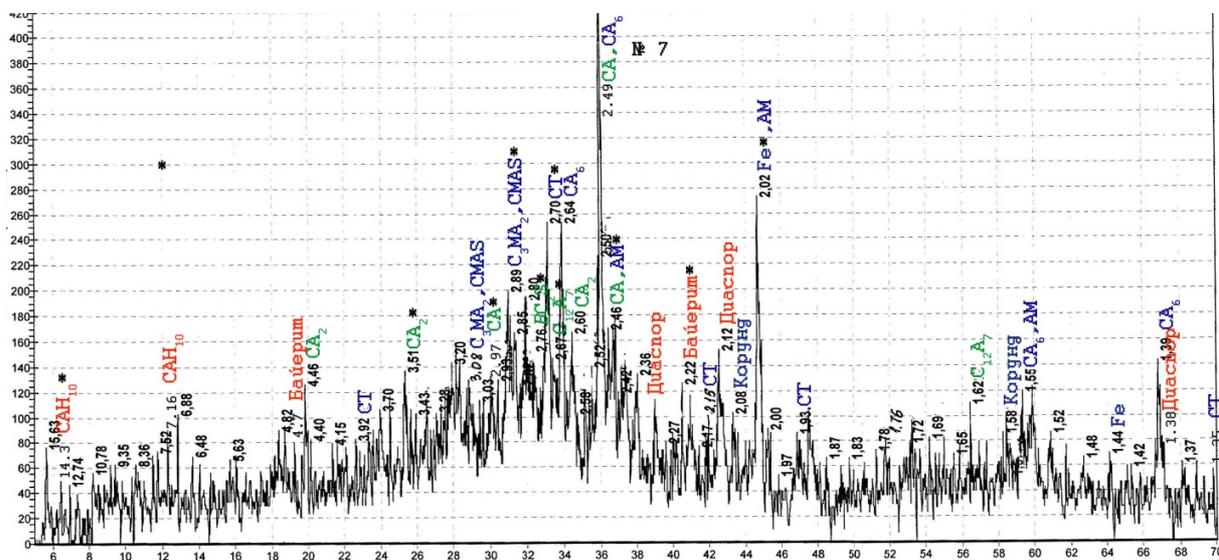


Рис. 4. Рентгенограмма образцов цементного камня (ГЦ) с Melflux 1641F 0,15 % в возрасте 3 сут.

К 28 суткам на рентгенограмме более четкие отражения, все фазы лучше закристаллизованы. Гидраты глинозема представлены только байеритом и диаспором.

Отражения CA (2,97;2,50) и CA_2 (3,50;2,60) остаются достаточно мощными, что свидетельствует о сильном замедлении гидратации.

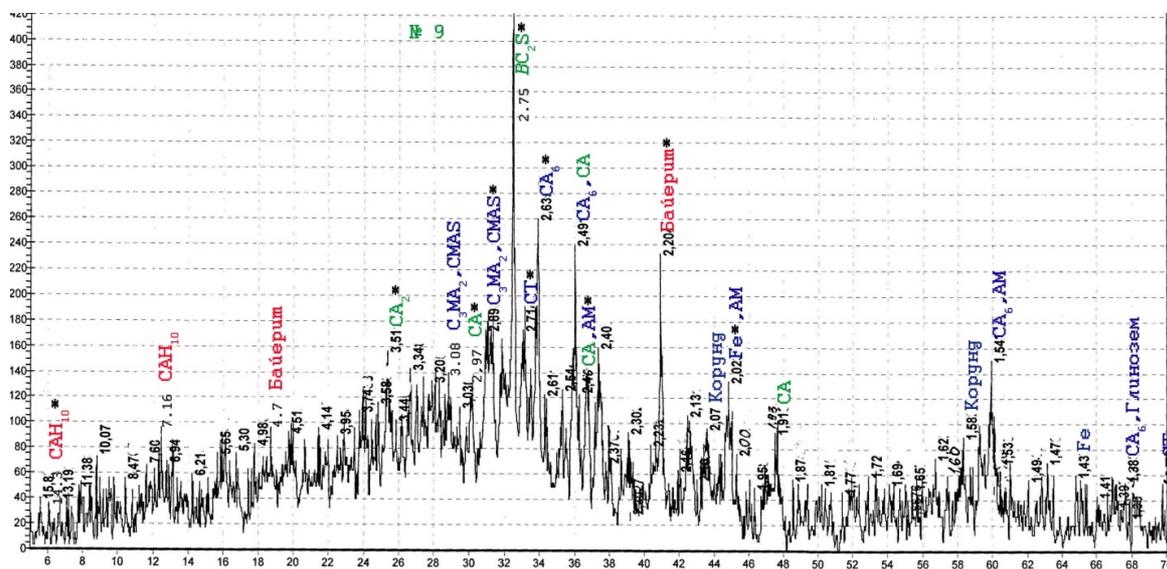
При введении добавки Melflux PP200F в количестве 0,15 % (рис. 6) состав образцов цементного камня представляет перовскитом CT (2,70;1,92), глиноземом, бемитом (6,11;3,16), отражения байерита и диаспора слабые.

В целом все фазы плохо закристаллизованы, что может свидетельствовать о сильном замедлении процесса гидратации добавкой Melflux PP200F. Четкие отражения $C_{12}A_7$ (2,65), CA (2,97;2,50;2,44) это подтверждают.

К 7-суточному возрасту по-прежнему присутствуют очень сильные отражения бонита CA_6 (2,64;1,55), глинозема и клинкерных минералов. Фазы плохо закристаллизованы, что свидетельствует о сильном замедленном эффекте добавки Melflux PP200F, использовать её в дальнейшем нецелесообразно.

Таким образом, наилучшие результаты достигаются при использовании добавок Melflux 1641F и 2651F. Установлено, что в дозировках 0,15–0,25 % данные добавки не вызывают существенно замедления гидратации, но повышают прочность цементного камня.

В дальнейшем для повышения огнеупорности цемента вводили в ГЦ добавку тонкомолотого шлака ферротитана. В ходе проведения исследований было установлено, что оптимальное содержа-



Сравнительные свойства вяжущих

Материал	Огнеупорность, °С	Удельная поверхность, см ² /г	НГ, %	R _{сж} ^{3 сут}	R _{сж} ^{7 сут}
ГЦ 50 по ГОСТ 969	1430–1450	3700	26,5	50	54
Модифицированный ГЦ	1520–1550	4200–4700	26,0	51	53

Таблица 3

Свойства ячеистого жаростойкого бетона на разработанном вяжущем и шамотном заполнителе

№ п/п	Характеристика	Средняя плотность после сушки, кг/м ³		
		800	900	1000
1	Предел прочности при сжатии в возрасте 3 сут, после сушки, МПа, не менее	2,4	3,7	5,1
2	Остаточная прочность при 800 °С, %	41	56	59
3	Термостойкость при 800 °С, воздушные теплосмены, не менее	9	12	13
4	Усадка после нагревания до предельной температуры применения, %	1,2	0,9	0,9
5	Предельная температура применения, °С	1200	1300	1300

ние шлака ферротитана в ГЦ составляет 30 % (табл. 2).

На основе полученных вяжущих, шамотного и корундового заполнителя были разработаны ячеистые жаростойкие бетоны (газобетоны) (табл. 3).

Поризация достигалась введением добавок алюминиевой пудры и щелочи (NaOH), так как щелочность цементного теста недостаточна. Средняя плотность газобетона составляет 800–900 кг/м³. Предел прочности при сжатии бетона на модифицированном ГЦ 2,4–5,1 МПа, температура применения составляет 1200–1300 °С.

Литература

1. Абызов, В.А. Выбор рациональных областей применения промышленных отходов в технологии жаростойкого бетона / В.А. Абызов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – Челябинск: ЮУрГУ, 2008. – Вып. 7. – № 25(125) – С. 37–39.

2. Жаростойкие и огнеупорные бетоны на основе вяжущих и заполнителей из шлаков ферросплавного производства / А.Н. Абызов, В.М. Рывин, В.А. Абызов и др. // Труды международного конгресса «Фундаментальные основы технологий переработки и утилизации техногенных отходов». – Екатеринбург: ООО УИПЦ, 2012. – С. 304–306.

3. Unroasted thermal insulating refractory materials based on high-alumina cement and phosphate binders / A.N. Abyzov, V.M. Rytvin, V.A. Abyzov et al. // *Refractories and Industrial Ceramics*. – 2011. – № 52(4). – P. 303–306.

4. Сухие смеси для жаростойких бетонов на основе плавящихся высокоглиноземистых цементов и заполнителей алюмотермического производства / В.А. Абызов, А.Н. Абызов, А.К. Абрамов и др. // *Новые огнеупоры*. – 2013. – № 3. – С. 37.

5. Heat-resistant concrete based on aluminothermic slags of the Klyuchevskii Ferroalloys Plant / A.N. Abyzov, V.A. Perepelytsyn, V.M. Rytvin et al. // *Refractories and Industrial Ceramics*. – 2007. – V. 48, № 6. – P. 397–400

6. High-alumina technogenic raw material / V.A. Koroteev, V.M. Rytvin, S.I. Gil'varg et al. // *Refractories and Industrial Ceramics*. – 2011. – V. 52, № 2. – P. 84–94

7. Техногенное минеральное сырье Урала / В.А. Перепелицын, В.М. Рывин, В.А. Коротеев и др. – Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2013. – 332 с.

8. Kuznetsova, T. V. Development of Compositions for Refractory Material Containing Aluminomagnesian Spinel / T. V. Kuznetsova, N. S. Tret'yakova // *Glass and Ceramics*. – 2004. – V. 61, № 5–6. – P. 154–156.

9. Получение клинкера высокоглиноземистого цемента из шлаков от выплавки хрома и ферротитана / А.С. Дубровин, Г.И. Залдат, Г.Ф. Игнатенко и др. // *Производство ферросплавов*. – Челябинск: Южно-Уральское книжное издательство, 1972. – Вып. 1. – С. 60–70.

10. Абызов, В.А. Модифицированные глиноземистые вяжущие на основе шлаков ферросплавного производства / В.А. Абызов, С.Н. Черногорлов, Д.А. Речкалов // *Наука ЮУрГУ: материалы 66-й научной конференции (электронный ресурс)*, ЮУрГУ, 2014. – С. 861–866.

11. Мельник, М.Т. Огнеупорные цементы / М.Т. Мельник, Н.Г. Илюха, Н.Н. Шаповал. – Киев: Вища школа, 1984. – 121 с.

12. Абызов, В.А. Вяжущие, клеи и жаростойкие бетоны с использованием дисперсных высокоглиноземистых промышленных отходов / В.А. Абызов // *Огнеупоры и техническая керамика*. – 2008. – № 9. – С. 40–44.

13. Быстротвердеющие глиноземистые огнеупорные цементы на основе дисперсных отходов переработки шлака безуглеродистого феррохрома / В.А. Абызов, В.М. Рывтин, Д.А. Речкалов, С.Н. Черногорлов // *Новые огнеупоры*. – 2014. – № 3. – С. 17–18.

14. Некрасов, К.Д. Жаростойкий бетон на глиноземистом цементе и шлакопортландцементе с добавками пластификаторов / К.Д. Некрасов, И.И. Либерман // *Жаростойкие и обычные бетоны при действии повышенных и высоких температур*. – М.: НИИЖБ, 1988. – С. 30–37.

15. Хоммер, Х. Применение поликарбоксилатных эфиров в качестве дефлокулянтов в огнеупорных бетонах / Х. Хоммер, К. Вутц, Й. Зайерль //

Огнеупоры и техническая керамика. – 2007. – № 12. – С. 43–47.

16. Хаук, Х.-Г. Высокоэффективные суперпластификаторы на базе эфиров поликарбоксилатов. Потенциал применения в современных бетонных технологиях / Х.-Г. Хаук // *Бетон, сырье, технологии, эксплуатация: сб. науч. тр. Международ. научно-техн. конф. ConLife-2007*. – СПб., 2007. – С. 78–84.

17. Абызов, В.А. Особенности гидратации высокоглиноземистого цемента из шлаков алюминотермического производства с добавками суперпластификаторов / В.А. Абызов // *Огнеупоры и техническая керамика*. – 2009. – № 4–5. – С. 80–84.

Абызов Виктор Александрович, доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные материалы», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), uralniist@mail.ru

Черногорлов Сергей Николаевич, аспирант кафедры «Строительные материалы», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), gerimoand2@mail.ru

Поступила в редакцию 25 января 2015 г.

ALUMINOUS BINDING MATERIALS BASED ON THE SLAG OF ALUMINOTHERMAL PRODUCTION OF FERROTITANIUM AND CELL CONCRETE ON THEIR BASIS

V.A. Abyzov, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, uralniist@mail.ru

S.N. Chernogorlov, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, gerimoand2@mail.ru

The modified aluminous binding material is developed on the basis of aluminous cement, slag of aluminothermal output of ferrotitanium and superplasticizing admixtures based on polycarboxylic ether. The peculiarities of hydration of binding materials in the presence of these additives are examined by the methods of physical and chemical analysis. It's shown that at the initial stages of hardening (3–7 days) the speed of hydration of calcium aluminates to different extents is reduced under the influence of superplasticizing admixtures based on polycarboxylic ether. The additives which at least slow down hardening are revealed, their optimal doses are specified. The influence of these additives on a binding property is examined. The modified binding material with increased fire resistance (1520–1550 °C) is obtained. It's shown that the use of superplasticizing admixtures based on polycarboxylic ether provides the binding material, which contains the slag of aluminothermal output of ferrotitanium, with high strength properties. The heat-resistance cell concrete with the operating temperature up to 1300°C is produced on the basis of the developed binding material, fire clay and fireproof aggregates.

Keywords: heat-resistance cell concrete, high-alumina cement, aluminous cement, modified aluminous binding, slag of aluminothermal production, slag of ferrotitanium, superplasticizing admixtures based on polycarboxylic ether, heat-resistant properties, fire resistance, hydration of calcium aluminate, calcium aluminate hydrate

References

1. Abyzov V.A. [Choice of rational fields of application of industrial waste in the technology of heat-resistant concrete]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction and Architecture*, 2008, iss. 7, no. 25(125), pp. 37–39.

2. Abyzov A.N., Rytvin V.M., Abyzov V.A., Perepelitsyn V.A., Grigor'ev V.G. [Heat-resisting and refractory concretes on the basis of binders and aggregates from slag Ferroalloy production]. *Trudy mezhdunarodnogo kongressa «Fundamental'nye osnovy tekhnologii pererabotki i utilizatsii tekhnogennykh otkhodov* [Proceedings of the international Congress "Fundamental basis of technologies of processing and recycling of industrial waste"]. Ekaterinburg, OOO UIPTs Publ., 2012, pp. 304–306.

3. Abyzov A.N., Rytvin V.M., Abyzov V.A., Perepelitsyn V.A., Grigor'ev V.G. Unroasted thermal insulating refractory materials based on high-alumina cement and phosphate binders. *Refractories and Industrial Ceramics*, 2011, no. 52(4), pp. 303–306.
4. Abyzov V.A., Abyzov A.N., Abramov A.K., Rytvin V.M., Perepelitsyn V.A., Khvatov A.V. [Dry mixtures for heat-resistant concrete based on the processed high-alumina cements and aggregates aluminothermic production]. *Novye ognepory* [New refractories], 2013, no. 3, p. 37.
5. Abyzov A.N., Perepelytsyn V.A., Rytvin V.M., Ignatenko V.G., Klinov O.A. [Heat-resistant concrete based on aluminothermic slags of the Klyuchevskii Ferroalloys Plant]. *Refractories and Industrial Ceramics*, 2007, vol. 48, no. 6, pp. 397–400.
6. Perepelitsyn V.A., Koroteev V.A., Rytvin V.M., Gil'varg S.I., Grigor'ev V.G., Ignatenko V.G., Abyzov A.N., Kutalov V.G. [High-alumina technogenic raw material]. *Refractories and Industrial Ceramics*, 2011, vol. 52, no. 2, pp. 84–94.
7. Perepelitsyn V.A., Rytvin V.M., Koroteev V.A., Makarov A.B., Grigor'ev V.G., Gil'varg S.I., Abyzov V.A., Abyzov A.N., Tabulovich F.A. [Technogenic mineral raw materials of the Urals]. Ekaterinburg, RIO UrO RAN Publ., 2013. 332 p.
8. Kuznetsova T. V. Tret'yakova N. S. [Development of Compositions for Refractory Material Containing Aluminomagnesian Spinel]. *Glass and Ceramics*, 2004, vol. 61, no. 5–6, pp. 154–156.
9. Dubrovin A.S., Zaldat G.I., Ignatenko G.F. [Obtaining high-alumina clinker cement from slag from smelting of chromium and ferro-titanium]. *Proizvodstvo ferrosplavov* [The production of ferroalloys]. Chelyabinsk, Yuzhno-Ural'skoe knizhnoe izdatel'stvo Publ., 1972, iss. 1, pp. 60–70.
10. Abyzov V.A. Chernogorlov S.N., Rechkalov D.A. [Modified calcium aluminate binders based on slag Ferroalloy production]. *Nauka YuUrGU. Materialy 66-y nauchnoy konferentsii (Elektronnyy resurs)* [Science YuUrGU. Materials 66th scientific conference (Electronic resource)]. Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 2014, pp. 861–866.
11. Mel'nik M.T. Ilyukha N.G., Shapoval N.N. *Ogneupornye tsementy* [Refractory cements]. Kiev, Vishcha shkola Publ., 1984. 121 p.
12. Abyzov V.A. [Binders, adhesives and heat-resistant concrete with high-alumina dispersed industrial waste]. *Ogneupory i tekhnicheskaya keramika* [Refractories and technical ceramics], 2008, no. 9, pp. 40–44.
13. Abyzov V.A. Rytvin V.M., Rechkalov D.A., Chernogorlov S.N. [Reactive alumina refractory cements based on dispersed waste recycling slag carbon-free ferrochromium]. *Novye ognepory* [New refractories], 2014, no. 3, pp. 17–18.
14. Nekrasov K.D. Liberman I.I. [Heat-resistant concrete on aluminous cement and slag Portland cement with additions of plasticizers]. *Zharostoykie i obychnye betony pri deystvii povyshennykh i vysokikh temperature* [Heat-resistant and conventional concrete under the action of elevated and high temperatures.]. Moscow, NIIZhB Publ., 1988, pp. 30–37.
15. Khommer Kh. Vutts K., Zayerl' Y. [The use of polycarboxylate ethers as deflocculants in refractory concretes]. *Ogneupory i tekhnicheskaya keramika* [Refractories and technical ceramics], 2007, no. 12, pp. 43–47.
16. Khauk Kh.-G. [High-performance superplasticizers on the basis of ether polycarboxylates. Potential use in modern concrete technology]. *Beton, syr'e, tekhnologii, ekspluatatsiya: sb. nauch. tr. Mezhdunar. nauchno-tekhn. konf. ConLife-2007* [Concrete, raw materials, technology, operation: collection of scientific works of International scientific-technical conference ConLife-2007]. St. Petersburg, 2007, pp. 78–84.
17. Abyzov V.A. [Features of hydration of high-alumina cement from slag aluminothermic production of superplasticizers additives]. *Ogneupory i tekhnicheskaya keramika* [Refractories and technical ceramics], 2009, no. 4–5, pp. 80–84.

Received 25 January 2015

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Абызов, В.А. Глиноземистые вяжущие на основе шлака алуминотермического производства ферротитана и ячеистые бетоны на их основе / В.А. Абызов, С.Н. Черногорлов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2015. – Т. 15, № 3. – С. 45–52.

FOR CITATION

Abyzov V.A., Chernogorlov S.N. Aluminous Binding Materials Based on the Slag of Aluminothermal Production of Ferrotitanium and Cell Concrete on Their Basis. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2015, vol. 15, no. 3, pp. 45–52. (in Russ.)