

## ЖАРОСТОЙКИЕ ЯЧЕИСТЫЕ БЕТОНЫ И ВЯЖУЩИЕ НА ОСНОВЕ ШЛАКОВ АЛЮМИНОТЕРМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

*В.А. Абызов, С.Н. Черногорлов, Д.А. Речкалов*

*Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск*

Приведены основные результаты работ по получению глиноземистых вяжущих на основе глиноземистого цемента, шлаков алюминотермического производства Ключевского завода ферросплавов, модифицированных добавками на основе эфиров поликарбоксилатов (РСЕ), а также ячеистых жаростойких бетонов на их основе. Использование шлаков алюминотермического производства обусловлено высоким содержанием  $Al_2O_3$  и соответствующим фазовым составом. С целью компенсировать уменьшение прочностных показателей, вызванное введением шлаков, в вяжущие ввели добавки – суперпластификаторы на основе РСЕ. Показано влияние данных добавок на процессы, протекающие при гидратации вяжущего. Фазовый состав продуктов гидратации исследован методами физико-химического анализа (дерииватографии, рентгенофазового анализа). Показано, что в первые 3–7 сут твердения добавки на основе РСЕ способствуют аморфизации новообразований, замедляя гидратацию. Установлены оптимальные дозировки суперпластификаторов на основе РСЕ. Изучены основные свойства разработанных вяжущих. На основе данных вяжущих получены ячеистые жаростойкие бетоны.

*Ключевые слова: жаростойкий бетон, огнеупор, ячеистый жаростойкий бетон, промышленные отходы, глиноземистый цемент, шлак алюминотермического производства, шлак ферротитана, шлак феррохрома.*

### **Введение**

Тенденция к постепенному вытеснению штучных огнеупоров жаростойким и огнеупорным бетоном в футеровках различных тепловых агрегатов появилась еще в 1970-х гг. Это значительно уменьшает трудозатраты, сокращает сроки выполнения работ, позволяет изготавливать изделия крупных размеров и сложной формы. В отличие от традиционных огнеупоров, бетоны не требуют обжига, энергоемкость их производства невелика [1–2]. В диапазоне температур 1400...1700 °С применяются бетоны на фосфатных связующих, глиноземистом (ГЦ) и высокоглиноземистом (ВГЦ) цементе, отличающиеся быстрым набором прочности [3–6].

Перспективным направлением повышения технико-экономических показателей тепловых агрегатов является применение в футеровках жаростойких и огнеупорных теплоизоляционных материалов. В России и за рубежом, в основном, применяют штучные огнеупорные изделия, изготавливаемые пенометодом или с выгорающими добавками, а также материалы на основе огнеупорного волокна (муллитокремнеземистого и хромсодержащего муллитокремнеземистого). Их производство осуществляется по сложной, энергоемкой технологии, связано со значительными энергозатратами на сушку и высокотемпературный обжиг. Данных недостатков лишены жаростойкие ячеистые бетоны, изготавливаемые по газо- или пенобетонной технологии на гидравлических (ГЦ и ВГЦ),

воздушных (жидкое стекло) и химических вяжущих (фосфатных). Наибольшее распространение получили газобетоны [4–8].

Свойства жаростойкого газобетона зависят от вида вяжущего, огнеупорных тонкокомлотых добавок и заполнителей. Максимальная температура применения газобетона на жидком стекле составляет 1000–1200 °С, на ГЦ – 1300 °С. Ее повышение до 1500 °С было достигнуто за счет использования ВГЦ и фосфатных связующих [4–6]. Стоимость данных вяжущих высока, так как производство энергоемко и требует дорогостоящего глиноземистого сырья. Вопросы снижения себестоимости и расширения сырьевой базы для ячеистых бетонов весьма актуальны [7–10].

Одна из основных тенденций в технологии ячеистых бетонов – снижение себестоимости за счет использования промышленных отходов при получении вяжущих и заполнителей. Они должны быть достаточно дисперсны (в особенности заполнители), иметь определенный химический (высокое содержание глинозема, обеспечивающее огнеупорность) и фазовый состав (для вяжущих – наличие алюминатов кальция) [6, 9, 10]. Перспективным направлением является использование высокоглиноземистых отходов – отработанных катализаторов и отходов их производства [7–9], а также высокоглиноземистых шлаков алюминотермического процесса [11–13]. Шлаки алюминотермического производства, сложенные корундом, шпинелью, содержащие алюминаты кальция, в

зависимости от вида и состава могут быть использованы как заполнители и компоненты глиноземистого вяжущего.

### Материалы и методы

В работе использованы глиноземистый цемент ГЦ-50 по ГОСТ 969 Пашийского металлургического-цементного завода – наиболее распространенный вид глиноземистого цемента в Уральском регионе. Вяжущее модифицировали добавкой шлака ферротитана – продукт плавильный глиноземистый ППГ-65К по ТУ 0798-069-00186482-2011 Ключевского завода ферросплавов. Обогащенная оксидом кальция разновидность шлака (ППГ-65К) состоит в основном из оксидов, мас. %:  $Al_2O_3$  – 60...70, CaO – 20...25, MgO – 2...5,  $TiO_2$  – 9...17. Основными фазами являются бонит, корунд,  $CA_2$ , перовскит и небольшие количества шпинели. Содержание шлака варьировалось в пределах 20–40 % от массы ГЦ из условия обеспечения требуемой прочности и огнеупорности вяжущего. Помол шлака осуществляли в вибромельнице, тонкость помола шлака составляла  $4500 \text{ см}^2/\text{г}$ .

Для получения быстротвердеющего глиноземистого вяжущего были использованы отходы переработки шлака аллюминотермической выплавки феррохрома (ППГ-50) ООО «ЮжУралинструмент» (г. Челябинск), содержащие более 50 %

$Al_2O_3$  и 10–24 CaO, а также до 20 % MgO, примеси оксидов хрома и железа. Образующиеся при частичном извлечении шпинели отходы обогащения дисперсны, содержание аллюминатов кальция ( $CA$ ,  $CA_2$ ) в них выше, чем в исходном шлаке. Для оценки возможности активации отходов их размалывали, определяли тонкость помола по удельной поверхности, нормальную плотность, сроки схватывания, прочность цементного камня. Прочность цементного камня нормального твердения оценивалась на образцах-кубах с ребром 20 мм, изготовленных из теста нормальной плотности.

При разработке жаростойкого газобетона на ВГЦ применялся цемент, получаемый из клинкеров (КВЦ 70 и 75) на основе шлаков аллюминотермической выплавки металлического хрома Ключевского завода ферросплавов, со свойствами по ТУ 21-20-9-73 и ТУ 21-20-60-84. Основные минералы клинкеров –  $CA_2$ , аллюмомгнезиальная шпинель, бонит  $CA_6$ , щелочесодержащий глинозем  $Na_2O \cdot 12(Al,Cr)_2O_3$  [12, 13].

Для регулирования сроков схватывания, а также в качестве водоредуцирующей добавки были использованы сухие суперпластификаторы на основе эфиров поликарбоксилатов (ПСЕ) – Melflux 1641F, Melflux 2651F и Melflux PP200F производства концерна BASF Construction Polymers (Германия), наиболее пригодные для использования в

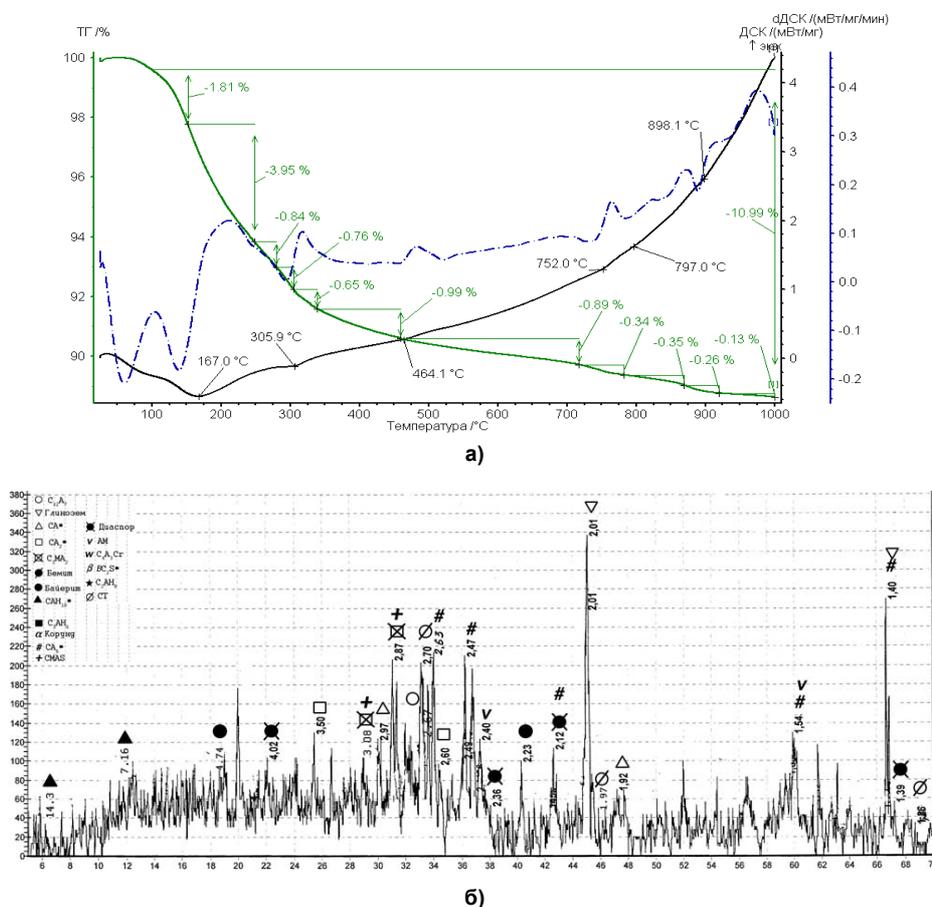


Рис. 1. ГЦ модифицированный, нормальное твердение, в возрасте 1 сут: а – дериватограмма; б – РФА

сухих смесях на основе глиноземистых цементов, а также жидкая добавка Glenium 51 [14–17]. Образцы цементного камня готовили из теста нормальной плотности по ГОСТ 310.3, твердение – в нормальных условиях по ГОСТ 10180. Состав продуктов гидратации изучали методами дериватографии и рентгенофазового анализа (РФА). Прочность вяжущего определяли как для глиноземистого цемента по ГОСТ 969, ГОСТ 310.4. Огнеупорность определяли по ГОСТ 4069.

В качестве заполнителей использовали шамот фракции 0–5 мм и тонкомолотый шамот производства ЧМК, шлам нормального электрокорунда ОАО «Челябинский абразивный завод», шлаки алюминотермического производства ферротитана (ППГ-65) и металлического хрома (ППГ-75) тонкомолотые и фракции 0–5 мм.

### Вяжущие на основе глиноземистого цемента и шлака алюминотермической выплавки ферротитана

Первоначально состав цементного камня (глиноземистый цемент, модифицированный добавкой шлака ферротитана) изучался дериватографией, а уточнение состава гидратных фаз производилось с помощью РФА.

На кривых ДТА образцов цементного камня в суточном возрасте (рис. 1, а) эндотермические эффекты соответствуют: при 70–100 °С – гексагональным гидросиликатам кальция ( $C_2AH_6$ ), при 100–200 °С –  $CAH_{10}$ ; при 250–300 °С – дегидратация гидраргиллита. Эффект при 420–500 °С вызван переходом бемита в  $\gamma-Al_2O_3$ , при 500–520 °С

происходит дегидратация диаспора. Экзоэффект при 800 °С – образование корунда из  $\gamma-Al_2O_3$ , при 900 °С – переход бёмита в  $\gamma-Al_2O_3$ ; байерит не обнаружен. РФА показывает (рис. 1, б) интенсивные отражения бонита  $CA_6$  (2,64;1,55A), корунда (2,01;1,43A), перовскита СТ (2,70;1,92A),  $CA$  (2,97;2,50;2,44A),  $CA_2$  (3,50;2,60;4,45A). Полностью гидратирован  $C_{12}A_7$ . Продукты гидратации представлены слабыми отражениями диаспора (4,02;2,12A), байерита (2,23A) и  $CAH_{10}$  (14,3;7,16A).

В цементном камне в возрасте 3 сут эффекты при 70–100 и 150 °С менее выражены, что связано с потерей сорбционной воды. Увеличение потерь воды в интервале до 250 °С вызвано образованием значительного количества  $CAH_{10}$ . Общие потери выше на 20 %, чем в суточном возрасте. На рентгенограмме уменьшается интенсивность отражений  $CA$  и  $CA_2$  (рис. 2, а). Дериватограмма цементного камня в возрасте 7 сут почти идентична 3 сут, то есть твердение к 7 сут замедляется (рис. 2, б).

При введении добавки Melflux 1641F в количестве 0,15 % общая картина остается прежней, однако для цементного камня в 1–3 сут твердения на дериватограмме до 300 °С потери воды ниже примерно на 25 %, чем в бездобавочном цементе, наблюдается замедленное образование  $CAH_{10}$  и гидратов глинозема (рис. 3, а). РФА показывает интенсивные отражения  $CA$ , нет  $CAH_{10}$ , что свидетельствует о замедлении гидратации и повышенной аморфизации продуктов гидратации. К 7 сут твердения цементного камня нет  $C_2AH_6$  (рис. 3, б), на дериватограмме обнаруживается только  $CAH_{10}$ .

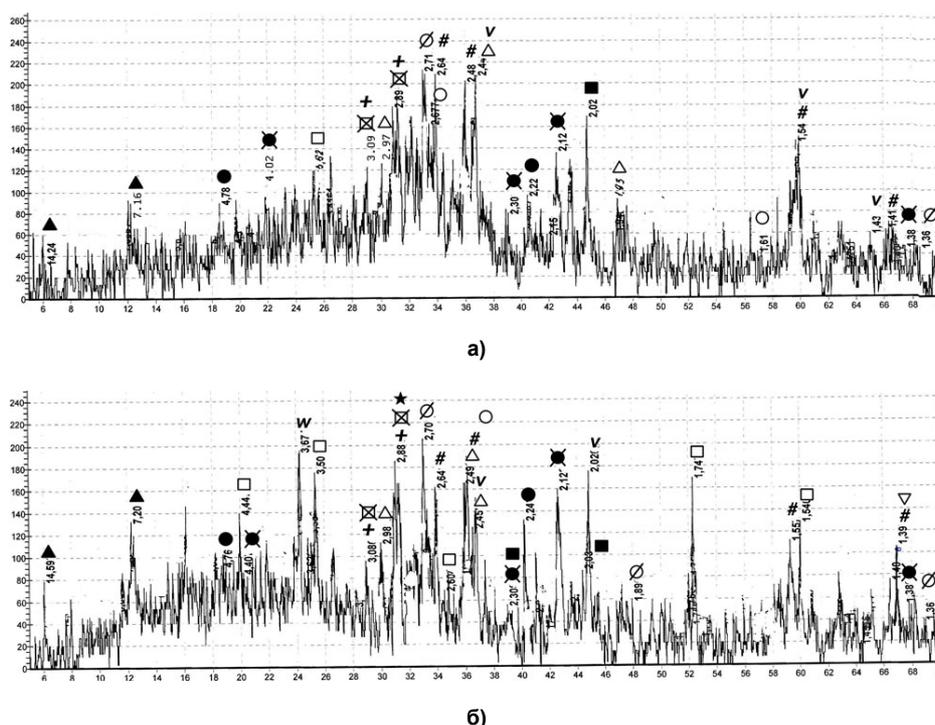


Рис. 2. ГЦ модифицированный, нормальное твердение: а – в возрасте 3 сут; б – в возрасте 7 сут

Добавка Melflux 2651F в том же количестве (рис. 4) несколько иначе влияет на гидратацию. Потери воды в 3 сут в интервале до 250 °С ниже (6,5%), чем с добавкой Melflux1641F, меньше формируется  $CAH_{10}$  и гидратов глинозема. Сильный эндотермический эффект при 70 °С свидетельствует о повышенном количестве сорбционной воды и присутствии в цементном камне  $C_2AH_8$ . Последний плохо закристаллизован, так как не различим на рентгенограммах, но фиксируется дериватографией. Снижаются потери воды в интервале 250–300 °С, меньше формируется бемита. На рентгенограммах (рис. 5) интенсивность отражений  $CAH_{10}$ , бемита, байерита заметно вы-

ше, чем при использовании Melflux 1641F, то есть фиксируется более ранняя стадия твердения. Состав цементного камня в 7 сут возрасте похож на цементный камень, полученный при введении Melflux1641F, в 3 сут. Повышение дозировки добавки до 0,25 %, судя по потерям воды на дериватограмме, сопровождается некоторым замедлением твердения.

Увеличение количества добавки Melflux 2651F до 1 % дает в 1, 3 и 7 сут возрасте совершенно иную картину (рис. 6). На рентгенограммах видны сильные отражения байерита и диаспора. Не различим  $CAH_{10}$ , что вызвано его плохой кристаллизацией. К 28 сут фазы лучше кристаллизуются, но гидраты

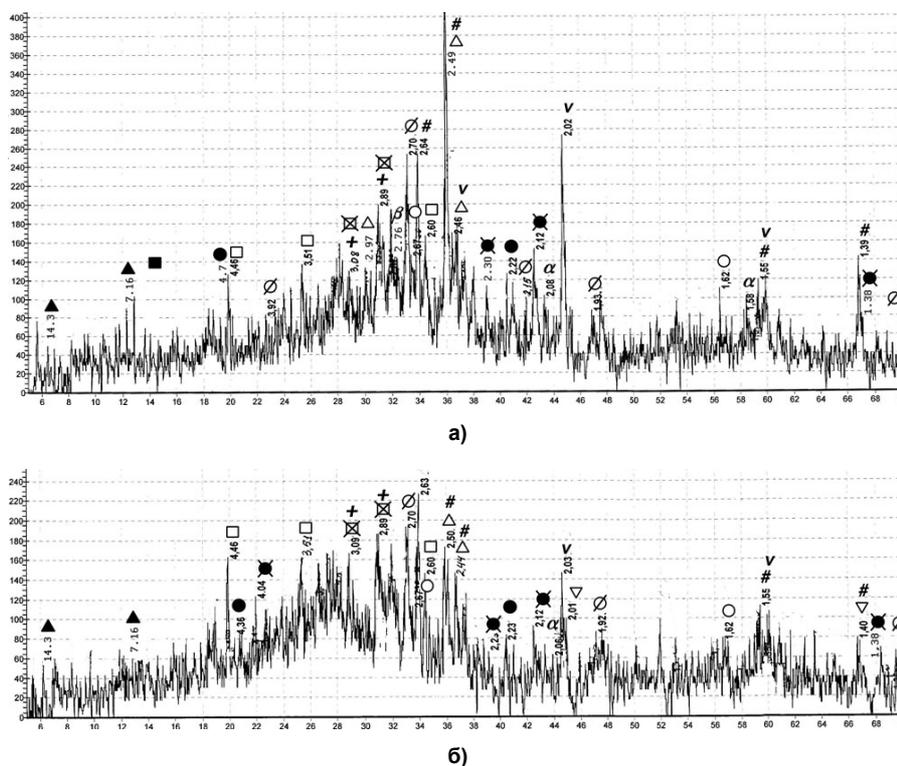


Рис. 3. ГЦ модифицированный, 0,15% Melflux 1641F: а – в 3 сут; б – в 7 сут

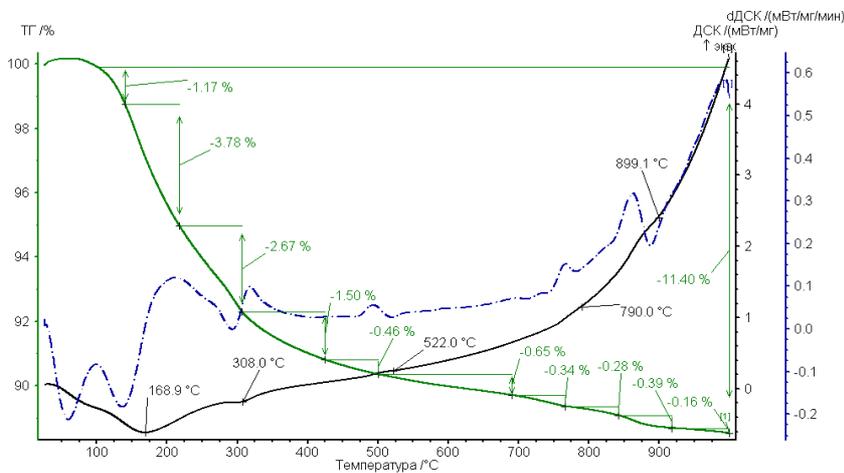
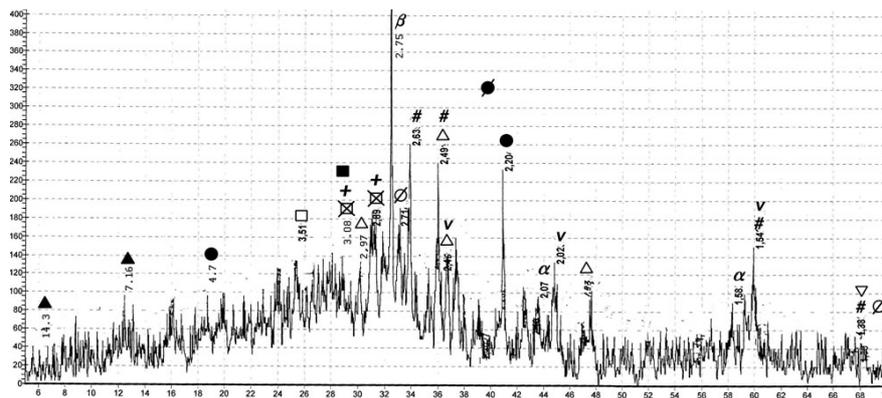
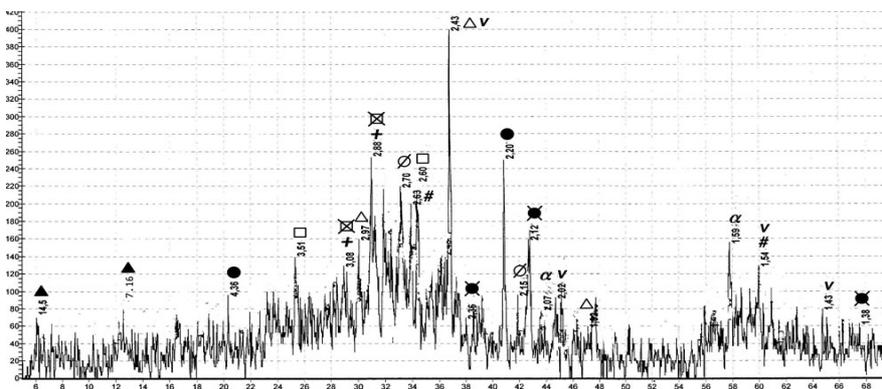


Рис. 4. ГЦ, Melflux 2651F, 0,15 %, 3 сут

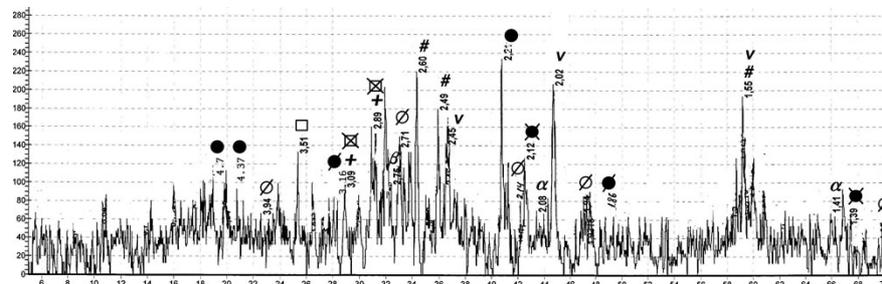


a)

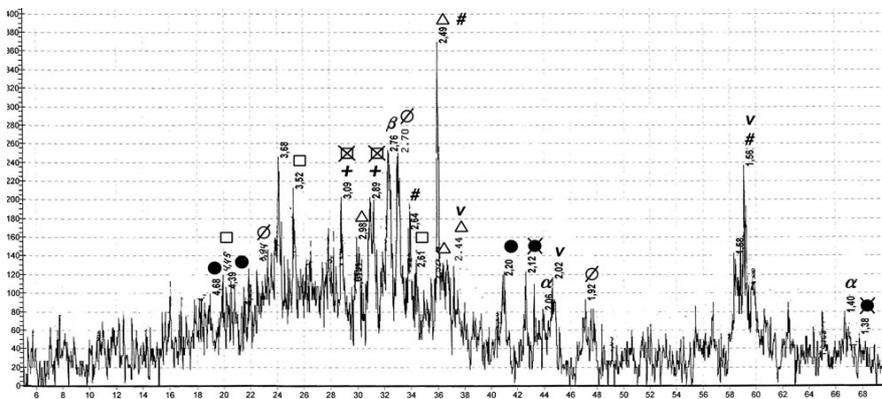


б)

Рис. 5. ГЦ модифицированный, 0,15 % Melflux 2651F: а – в 3 сут; б – в 7 сут



a)



б)

Рис. 6. ГЦ модифицированный, 1 % Melflux 2651F: а – в 3 сут; б – в 7 сут

глинозема представлены только байеритом и диаспором. Отражения  $CA$  и  $CA_2$  весьма интенсивны, что свидетельствует о сильном замедляющем эффекте. Таким образом, высокие дозировки добавки вызывают резкое замедление гидратации, плохую кристаллизацию продуктов гидратации, что отрицательно скажется на прочности в возрасте 1–7 сут. При использовании добавки Melflux PP200F продукты гидратации представлены слабыми отражениями байерита и диаспора. Она является мощным замедлителем.

Установлено, что для данного вяжущего наиболее эффективен суперпластификатор Melflux 1641F в количестве 0,15–0,25 %. По прочности вяжущее не уступает бездобавочному ГЦ-50. В то же время, введение ППГ-65К повысило огнеупорность вяжущего до 1550 °С.

#### Вяжущее на основе отходов переработки шлака алюминотермической выплавки феррохрома

После помола отходов переработки шлака феррохрома получается вяжущее с очень короткими сроками схватывания. Введение добавок на основе РСЕ обеспечивает эффективное замедление схватывания. Влияние на процессы гидратации оказалось аналогичным рассмотренному выше для модифицированного ГЦ. Использование добавки Melflux 2641 позволило получить из отсевов переработки шлака алюминотермической выплавки феррохрома (ППГ-50) вяжущее с пределом прочности для цементного камня 63...80 МПа в 3 сут возрасте и до 87 МПа в 7 сут. К 28 сут заметного прироста прочности не наблюдается. Начало схватывания, в зависимости от количества добавки, составляет 20...40 мин. Влияние тонкости помола и добавки на активность вяжущего показано на рис. 7.

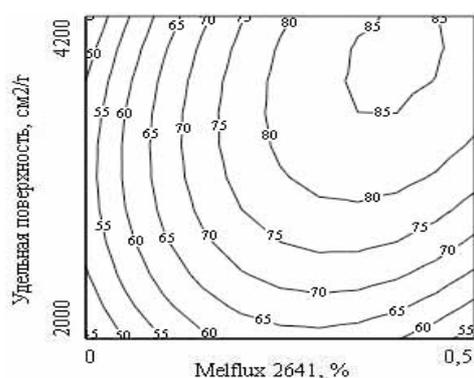


Рис. 7. Влияние тонкости помола и добавки Melflux 2641F и на прочность цементного камня, МПа

В результате уточнения дозировок пластификатора было получено вяжущее с удельной поверхностью 4200–4900 см<sup>2</sup>/г, которое имеет нормальные сроки схватывания и прочность при сжатии по ГОСТ 310.4 в 3 сут возрасте 30–35 МПа. К

7 сут возрасту прочность повышается до 40–50 МПа и в дальнейшем меняется незначительно [18]. Огнеупорность разработанных вяжущих превышает 1450 °С (может меняться в зависимости от степени извлечения шпинели).

#### ВГЦ с добавками суперпластификаторов на основе РСЕ и шлака алюминотермической выплавки феррохрома

В связи с тем, что цементы из клинкеров КВЦ-70, КВЦ-75 отличаются медленным твердением в первые 7 сут, для ускорения твердения вводили добавку – шлак феррохрома (ППГ-50). Это обеспечило интенсивный набор прочности цемента к 1 сут, но сократились сроки схватывания. Для нормализации свойств цемента использовали пластификаторы. Введение СП-1 обеспечивает необходимый эффект, но снижает остаточную прочность [15]. В связи с этим, были использованы добавки на основе РСЕ. Они являются наиболее эффективными, кроме того, адсорбируются в первую очередь на алюминатах [14]. Наилучшие результаты были достигнуты с использованием добавок Glenium 51, Melflux 1641F. Получен ВГЦ с началом схватывания 45...50 мин. Изучение цементного камня РФА показало, что добавки в 1 сут замедляют процессы гидратации алюминатов кальция, продукты гидратации сильно аморфизированы [15]. На рентгенограммах цементного камня в 3 сут возрасте наблюдаются сильные отражения инертных фаз и слабые пики продуктов гидратации. Судя по интенсивности пиков, принадлежащих глинозему (1,40), образующемуся из гидроксид алюминия при сушке образцов, Glenium 51 практически не замедляет гидратацию цемента к возрасту 3–7 сут [15]. К 7 сут появляются отражения  $C_3AH_6$ , что свидетельствует о быстром переходе его в кубическую форму. Повышение дозировки Glenium 51 до 0,5 % обеспечивает ускоренное формирование  $C_3AH_6$ . Был получен модифицированный ВГЦ с нормальными сроками схватывания, пределом прочности при сжатии в 3 сут возрасте не менее 35 МПа, а к 7 сут – 50–60 МПа.

#### Жаростойкие ячеистые бетоны на основе разработанных вяжущих

На основе разработанных глиноземистых вяжущих и шамотного заполнителя были получены ячеистые жаростойкие бетоны – газобетоны (табл. 1). В качестве газообразователя применяли алюминиевую пудру ПАП-2 по ГОСТ 5494, для регулирования щелочности среды дополнительно вводилась добавка щелочи – NaOH. Средняя плотность газобетона после сушки составила 800...1000 кг/м<sup>3</sup>. Предельная температура применения газобетона – до 1300 °С (табл. 1).

В дальнейшем на модифицированном глиноземистом вяжущем, за счет использования шлакового заполнителя (ППГ-75) фракции 0–3 мм был получен газобетон с повышенной прочностью –

Таблица 1

Свойства ячеистого жаростойкого бетона на модифицированных глиноземистых вяжущих и шамотном заполнителе

№	Характеристика	Средняя плотность после сушки, кг/м <sup>3</sup>					
		ГЦ с добавкой ППГ-65К			Цемент на основе отходов переработки ППГ-50		
		800	900	1000	800	900	1000
1	Предел прочности при сжатии в 3 сут., после сушки, МПа	2,4	3,7	5,1	2,6	3,9	5,4
2	Остаточная прочность после нагрева до 800 °С	41	56	59	42	54	58
3	Термостойкость, воздушные теплосмены, 800 °С	9	12	13	9	11	11
4	Усадка после нагрева до температуры применения, %	1,2	0,9	0,9	1,4	1,1	1,0
5	Предельная температура применения, °С	1200	1300	1300	1200	1300	1300

Таблица 2

Основные свойства поризованных жаростойких бетонов на ВГЦ

№	Предельная температура применения, °С	Заполнитель	Средняя плотность после сушки (110 °С), кг/м <sup>3</sup>	Прочность при сжатии, МПа	Остаточная прочность (не менее), %	Термостойкость, (не менее), воздушные теплосмены	Усадка после нагревания до температуры применения, не более, %
1	1300–1400	Шамот	500–1200	1–10	40	15	2
2	1400–1500	Корунд	500–1000	1–4	30	20	2
3	1400–1500	ППГ–75	600–110	2,5–6	40	25	2
4	1300–1400	ППГ–65	600–1000	3–6	40	20	2

4,0...5,5 МПа при одновременном увеличении температуры применения до 1400 °С.

На ВГЦ, модифицированном добавками на основе РСЕ, были получены ячеистые жаростойкие бетоны с температурой применения, в зависимости от вида заполнителя, 1300...1500 °С (табл. 2).

Таким образом, применение добавок на основе РСЕ обеспечивает нормализацию сроков схватывания и повышение физико-механических показателей цемента на основе шлаков алюминотермического производства. Исследование влияния добавок на процессы гидратации вяжущих позволило уточнить оптимальные дозировки добавок. На основе данных цемента получен жаростойкий газобетон с температурой применения 1300...1500 °С.

### Литература

1. Некрасов, К.Д. Состояние и перспективы развития научных исследований и применения жаростойких бетонов / К.Д. Некрасов // Исследования в области жаростойкого бетона. – М.: Стройиздат, 1977. – С. 14–31.

2. Некрасов, К.Д. Опыт применения легких жаростойких бетонов в строительстве за рубе-

жом: сб. науч. тр. респ. конф. / К.Д. Некрасов. – Днепропетровск, 1978. – С. 3–5.

3. Кузнецова, Т.В. Глиноземистый цемент / Т.В. Кузнецова, Й. Талабер. – М.: Стройиздат, 1988. – 267 с.

4. Тарасова, А.П. Ячеистые жаростойкие бетоны / А.П. Тарасова, А.Л. Карпова // Исследования в области жаростойкого бетона. – М.: Стройиздат, 1977. – С. 80–90.

5. Абызов, А.Н. Легкие ячеистые и поризованные жаростойкие бетоны на фосфатном вяжущем / А.Н. Абызов, Л.А. Кирьянова // Бетон и железобетон. – 1981. – № 12. – С. 15–16.

6. Абызов, А.Н. Получение поризованных жаростойких фосфатных материалов методом самораспространяющегося экзотермического синтеза / А.Н. Абызов // Тез. докл. Всесоюз. совещ. «Высокотемпературная химия силикатов и оксидов». – Л.: Наука, 1988. – С. 399–401.

7. Абызов, В.А. Ячеистые жаростойкие материалы на основе промышленных отходов / В.А. Абызов // Строительство и образование: сб. науч. тр. – Екатеринбург, УГТУ, 2001. – Вып. 4. – С. 123–124.

8. Жаростойкий газобетон на алюмоборфосфатном связующем / В.А. Абызов, А.Н. Абызов, В.А. Магилат, Б.Я. Трофимов // *Строительные материалы и изделия: межвуз. сб. научн. тр.* – Магнитогорск: МГТУ, 2002. – С. 143–148.

9. Абызов, А.Н. Жаростойкие бетоны с добавками отходов производства носителя катализатора дегидрирования углеводородов / А.Н. Абызов, В.А. Абызов, А.К. Абрамов // *Строительные материалы.* – 2007. – № 4. – С. 84–85.

10. Абызов, В.А. Основные направления повышения качества и расширения номенклатуры жаростойких растворов и огнеупорных клеев / В.А. Абызов, О.А. Клинов, Е.Н. Ряховский // *Вестник ЮУрГУ. «Строительство и архитектура».* – 2007. – Вып. 4. – № 14(86). – С. 12–14.

11. Жаростойкие и огнеупорные бетоны на основе вяжущих и заполнителей из шлаков ферросплавного производства / А.Н. Абызов, В.М. Рывин, В.А. Абызов и др. // *Фундаментальные основы технологий переработки и утилизации техногенных отходов: тр. между. конгр.* – Екатеринбург: ООО УИПЦ, 2012. – С. 304–306.

12. Heat-resistant concrete based on aluminothermic slags of the Klyuchevskii Ferroalloys Plant / A.N. Abyzov, V.A. Perepelitsyn, V.M. Rytvin et al. // *Refr. and Industrial Ceramic.* – 2007. – Vol. 48. – № 6. – P. 397–400.

13. Perepelitsyn, V.A. High-alumina technogenic raw materia / V.A. Perepelitsyn, V.A. Koroteev,

V.M. Rytvin et al. // *Refr. and Industrial Ceramic.* – 2011. – Vol. 52, № 2. – P. 84.

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

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

16. Abyzov, V.A. Hydration of alumina cement containing ferrotitanium slag with polycarboxylate-ethers (PCE) additives / V.A. Abyzov, D.A. Rechkalov, S.N. Chernogorlov // *Advanced materials in technology and construction (AMTC-2015).* – AIP Publishing, 2016. – 1698. – P. 060013-1- 060013-5.

17. Abyzov, V.A. Modified Binders from aluminothermal production slags and cellular heat-resistant concretes based on them / V.A. Abyzov, D.A. Rechkalov, S.N. Chernogorlov // *Refr. and Industrial Ceramic.* – 2015. – Vol. 56, № 4. – P. 386–389.

18. Абызов, В.А. Глиноземистое вяжущее на основе отходов переработки шлака аллюминотермического производства безуглеродистого феррохрома / В.А. Абызов, Д.А. Речкалов, С.Н. Черногорлов // *Огнеупоры и техническая керамика.* – 2014. – № 7–8. – С. 55–57.

**Абызов Виктор Александрович**, доцент, канд. техн. наук, кафедра «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

**Речкалов Денис Александрович**, аспирант кафедры «Строительные материалы», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), gerimoand2@mail.ru

Поступила в редакцию 25 марта 2016 г.

DOI: 10.14529/build160207

## HEAT-RESISTANT CELLULAR CONCRETE AND BINDING MATERIALS ON THE BASIS OF ALUMINOTHERMAL SLAG

V.A. Abyzov, uralniist@mail.ru

S.N. Chernogorlov, gerimoand2@mail.ru

D.A. Rechkalov, gerimoand2@mail.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The paper presents the basic results of works on production of alumina binders on the basis of alumina cement, aluminothermal slag produced in Kluchevsky Ferroalloy Plant, modified additives based on polycarboxylate ether (PCE), as well as heat-resistant cellular concrete on their basis.

The use of aluminothermal slag is conditioned by high concentration of  $Al_2O_3$  and a relevant phase constitution. The superplasticizing admixtures based on PCE are added to the binding material in order to compensate a decrease in strength properties caused by introduction of slag. The influence of these additives on processes occurring in hydration of the binding material is described. The phase composition of hydration products is studied by methods of physical and chemical analysis (derivatography, X-ray phase analysis). It's shown that at 3–7 days of hardening the admixtures based on PCE facilitate amorphization of new formations slowing down the hydration. The optimal proportion of superplasticizers on the basis of PCE is specified. The main properties of the developed binders are examined. The heat-resistant cellular concrete is obtained on the basis of these binding materials.

*Keywords:* heat-resistant concrete, refractory material, cellular heat-resistant concrete, industrial wastes, alumina cement, aluminothermal slag, ferrotitanium slag, ferrochromium slag.

### References

1. Nekrasov K.D. [Status and prospects of the development of scientific research and the use of heat-resistant concrete]. *Issledovaniya v oblasti zharostoykogo betona* [Research in the field of heat-resistant concrete]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1977, pp. 14–31. (in Russ.)
2. Nekrasov K.D. [Experience with light refractory concrete in construction abroad] *Sbornik nauchnykh trudov respublikanskoy konferentsii* [Collection of scientific works of the Republican conference]. Dnepropetrovsk, 1978, pp. 3–5. (in Russ.)
3. Kuznetsova T.V., Talaber Y. *Glinozemisty tsement* [Aluminous cement]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1988. 267 p.
4. Tarasova A.P., Karpova A.L. [Cellular heat-resistant concrete. Researches in the field of heat-resistant concrete]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1977, pp. 80–90. (in Russ.)
5. Abyzov A.N., Kir'yanova L.A. [Lightweight cellular, porous refractory concretes phosphate binder]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete]. Moscow, 1981, no. 12, pp. 15–16. (in Russ.)
6. Abyzov A.N. [Preparation of porous heat-resistant phosphate materials by self-propagating exothermic synthesis]. *Tez. dokl. Vsesoyuz. soveshch. "Vysokotemperaturnaya khimiya silikatov i oksidov"* [Abstracts of the All-Union Conference "High-temperature chemistry of silicates and oxides"]. Leningrad, Nauka Publ., 1988, pp. 399–401. (in Russ.)
7. Abyzov V.A. [Cellular heat-resistant materials based on industrial waste]. *Stroitel'stvo i obrazovanie: Sb. nauchn. tr.* [Construction and Education: Collection of scientific papers]. Ekaterinburg, UGTU Publ., 2001, iss. 4, pp. 123–124. (in Russ.)
8. Abyzov V.A., Abyzov A.N., Magilat V.A., Trofimov B.Ya. [Heat-resistant aerated concrete on aluminoborofosfatnom binder.]. *Stroitel'nye materialy i izdeliya: Mezhdunarodnyy sb. nauchn. tr.* [Building materials and products: Interuniversity collection of scientific papers]. Magnitogorsk, MGTU Publ., 2002, pp. 143–148. (in Russ.)
9. Abyzov A.N., Abyzov V.A., Abramov A.K. [Heat-resistant concrete with the addition of a catalyst carrier production waste dehydrogenation carbohydrate] *Stroitel'nye materialy* [Building materials], 2007, no. 4, pp. 84–85 (in Russ.).
10. Abyzov V.A., Klinov O.A., Ryakhovskiy E.N. [The main directions of improving the quality and expanding the range of heat-resistant refractory mortars and adhesives]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*, 2007, iss. 4, no. 14(86), pp. 12–14. (in Russ.)
11. Abyzov A.N., Rytvin V.M., Abyzov V.A., Perepelitsyn V.A., Grigor'ev V.G. [Resistant and refractory concrete based binders and aggregates from slag ferroalloy production] *Fundamental'nye osnovy tekhnologii pererabotki i utilizatsii tekhnogennykh otkhodov: tr. mezhd. kongr.* [Fundamentals of technologies for processing and recycling of technogenic waste: Proceedings of the International Congress]. Ekaterinburg, 2012, pp. 304–306. (in Russ.).
12. 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. *Refr. and Industrial Ceramic*, 2007, vol. 48, no. 6, pp. 397–400.
13. 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 materia. *Refr. and Industrial Ceramic*, 2011, vol. 52, no. 2, p. 84.
14. Khaik Kh.-G. [High-performance superplasticizers based on polycarboxylate ethers. Potential applications in modern concrete technology] *Beton, syr'e, tekhnologii, ekspluatatsiya: sb. nauch. tr. Mezhdunar. nauchno-tekhn. konf. ConLife-2007* [Concrete, raw materials, technology, operation: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference ConLife-2007]. St. Petersburg, 2007, pp. 78–84. (in Russ.)
15. Abyzov V.A. [Features of high-alumina cement hydration of slag aluminothermic production with the addition of superplasticizers]. *Ogneupory i tekhnicheskaya keramika* [Refractories and technical ceramics], 2009, no. 4–5, pp. 80–84. (in Russ.)

16. Abyzov V.A., Rechkalov D.A., Chernogorlov S.N. Hydration of alumina cement containing ferrotitanium slag with polycarboxylate-ethers (PCE) additives. *Advanced materials in technology and construction (AMTC-2015)*. AIP Publishing, 2016. – 1698. – P. 060013-1–060013-5.

17. Abyzov V.A., Rechkalov D.A., Chernogorlov S.N. Modified Binders from aluminothermal production slags and cellular heat-resistant concretes based on them. *Refr. and Industrial Ceramic*, 2015, vol. 56, no. 4, pp. 386–389.

18. Abyzov V.A., Rechkalov D.A., Chernogorlov S.N. [Aluminous binder based on slag recycling aluminothermal production of carbon-free ferrochromium]. *Ogneupory i tekhnicheskaya keramika* [Refractories and technical ceramics], 2014, no. 7–8, pp. 55–57. (in Russ.)

*Received 25 March 2016*

---

**ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ**

Абызов, В.А. Жаростойкие ячеистые бетоны и вяжущие на основе шлаков алуминотермического производства / В.А. Абызов, С.Н. Черногорлов, Д.А. Речкалов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2016. – Т. 16, № 2. – С. 38–47. DOI: 10.14529/build160207

**FOR CITATION**

Abyzov V.A., Chernogorlov S.N., Rechkalov D.A. Heat-resistant Cellular Concrete and Binding Materials on the Basis of Aluminothermal Slag. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2016, vol. 16, no. 2, pp. 38–47. (in Russ.). DOI: 10.14529/build160207

---