

doi: 10.5862/MCE.51.5

## Жаростойкий бетон на основе феррохромового шлака

*Д.т.н., профессор М.Т. Жугинисов;  
д.т.н., зав. кафедрой «Инженерные сети и системы» М.М. Мырзахметов;  
к.т.н., старший преподаватель Д.Т. Сартаев;  
к.т.н., старший преподаватель Е.С. Орынбеков,  
Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева*

**Аннотация.** В промышленности строительных материалов в качестве футеровочных материалов часто используются дорогостоящие огнеупоры (шамотные, диасовые, высокоглиноземистые и др.), которые, несмотря на высокую огнеупорность неэффективны при использовании в тепловых агрегатах с рабочей температурой до 1300 °С.

Целью исследования является разработка составов жаростойких бетонов на силикат-натриевом композиционном вяжущем (СНКВ) и жидком стекле с применением феррохромового шлака. Исследования по использованию феррохромового шлака для получения жаростойкого бетона довольно ограничены. Как правило, саморассыпающийся феррохромовый шлак применяется как отвердитель при использовании жидкого стекла. Углеродистый феррохромовый шлак используется при получении СНКВ и в качестве заполнителя в комплексе с другими огнеупорными материалами. Разработка малокомпонентного жаростойкого бетона, у которого в составе вяжущего и заполнителя содержатся одни те же сырьевые материалы, однородные по фазовому составу, представляет определенный научный и практический интерес.

На основе углеродистого феррохромового шлака разработаны СНКВ и жаростойкий бетон, которые однородны по фазовому составу. Также с применением жидкого стекла разработан состав жаростойкого бетона без введения специального отвердителя. Твердение бетона на СНКВ осуществляется сушкой в интервале температур 100–200 °С, бетона на жидком стекле – сушкой при 105±5 °С. Физико-механические и термические свойства жаростойкого бетона определяли по ГОСТ 20910-90. Прочность при сжатии бетона на СНКВ после сушки составила 26,2 МПа, прочность при сжатии бетона на жидком стекле – 25,8 МПа. Температура, соответствующая 4%-ной деформации для обоих составов бетонов, равна 1270 °С. По предельно допустимой температуре применения рассматриваемые бетоны соответствуют классу И13.

**Ключевые слова:** жаростойкий бетон; феррохромовый шлак; заполнитель; силикат-натриевое композиционное вяжущее; жидкое стекло; сушка; огнеупорность

### Введение

Большинство технологических процессов в промышленности строительных материалов протекает в тепловых агрегатах при повышенных температурах. Наличие жаростойкой футеровки является основой стабильной работы тепловых агрегатов в таких условиях. В качестве основных футеровочных материалов используются дорогостоящие огнеупоры: шамотные, диасовые, корундовые, кордиеритовые, высокоглиноземистые и др., которые, несмотря на высокую огнеупорность, неэффективны при использовании в тепловых агрегатах с рабочей температурой до 1300 °С.

Применение жаростойких бетонов является одним из новых и прогрессивных направлений в строительстве тепловых агрегатов. Жаростойкие бетоны имеют ряд преимуществ по сравнению со штучными обжиговыми изделиями: они не требуют обжига при изготовлении, конструкции из них имеют минимальное количество швов. Бетонная технология позволяет без особых усилий изготавливать фасонные и крупноразмерные изделия, что дает возможность перейти к монтажу конструкций тепловых агрегатов с максимальным использованием средств механизации. Улучшение качества и развития производства новых видов жаростойких бетонов путем совершенствования технологии и эффективного использования сырьевых ресурсов является основным направлением технического прогресса в этой области. Одним из способов получения жаростойких бетонов с низкой себестоимостью является использование в качестве основного сырьевого компонента шлаков различных производств. В качестве вяжущего компонента при производстве жаростойкого бетона используются доступные растворимый силикат натрия и натриевое жидкое стекло.

Таким образом, разработка составов и технологии жаростойких бетонов на основе местного техногенного сырья является актуальной задачей.

Жугинисов М.Т., Мырзахметов М.М., Сартаев Д.Т., Орынбеков Е.С. Жаростойкий бетон на основе феррохромового шлака

**Целью данного исследования** является разработка составов жаростойких бетонов на силикат-натриевом композиционном вяжущем (СНКВ) и жидком стекле с применением феррохромового шлака.

Использование шлаков различных производств совместно с жидким стеклом для получения жаростойких бетонов освещено в работах [1–5]. Исследования по использованию феррохромового шлака для получения жаростойкого бетона довольно ограничены. В работе [6] с использованием феррохромового шлака разработаны силикат-натриевое вяжущее и жаростойкий бетон, где в составе вяжущего содержание самораспадающегося низкоуглеродистого шлака составляет 6 %, в заполнителе содержание шлака углеродистого феррохрома – 28 %, оставшееся: лом периклазовых огнеупоров – 62 % и силикат-глыба – 4 %. Класс указанного бетона по предельно допустимой температуре применения И16. Следовательно, разработка малокомпонентного жаростойкого бетона, у которого в составе вяжущего и заполнителя содержатся одни те же сырьевые материалы, однородные по фазовому составу, является актуальной задачей.

Жаростойкий бетон на растворимом силикате натрия (силикат-глыба) способен выдерживать эксплуатационные условия печей для получения керамических изделий, извести и других материалов с температурой обжига от 1000 до 1650 °С. Установлено [7], что огнеупорность вяжущих на основе растворимых стекол на 150–200 °С выше, чем у бетонов на жидком стекле, следовательно, бетоны на таком вяжущем должны обладать более высокими термомеханическими и термическими свойствами. В.П. Рыбалкиным при разработке кремнистого жаростойкого бетона проведены исследования по замене жидкого стекла силикат-глыбой [8]. Полученный бетон имеет следующие основные показатели: огнеупорность – 1650 °С, термическая стойкость – 17 теплосмен, теплопроводность при 1000 °С – 1,45 Вт/м·К, прочность при сжатии – 28–26 МПа, максимальная температура применения – 1400 °С.

Технология жаростойкого бетона заключается в получении композиционного вяжущего путем совместного помола силикат-глыбы с такими огнеупорными материалами, как шамот, мел, корунд, дианас, кварцит и др. В этой технологии особенно важен вид заполнителя, в качестве которого выбирают те же огнеупорные материалы. Основным фактором являлся характер химической реакции между силикатом натрия и огнеупорным компонентом при температуре плавления 800 °С и выше с образованием жаростойких соединений. В этом направлении известны работы Ю.П. Горлова, Б.Д. Тотурбиева, В.Ю. Бурова, В.А. Чеченова, З.А. Мантурова, Ф.Ш. Парамазовой и др. [9–15]. Разработке составов жаростойких бетонов посвящены работы зарубежных исследователей [16–18].

#### **Задачи исследования:**

- разработка составов силикат-натриевых композиционных вяжущих с применением феррохромового шлака и силикат-глыбы и исследование их функциональных свойств;
- подбор состава жаростойкого бетона на силикат-натриевом композиционном вяжущем и жидком стекле;
- исследование функциональных свойств жаростойких бетонов и определение оптимального состава;
- исследование фазообразования в изделиях оптимального состава.

#### ***Методы исследования свойств, структуры и фазовых превращений***

Для определения фазового состава сырьевых материалов и изучения процессов фазообразования в жаростойком бетоне применялись методы рентгенофазового и дифференциально-термического анализов.

Рентгенофазовый анализ (РФА) проводился на дифрактометре ДРОН-3 с СиК $\alpha$ -излучением. Чувствительность методов составляет от 1 до 2 %. Рентгенофазовому анализу подвергались порошки-образцы, прошедшие через сито 100 отв/мм. Идентификация рентгенограмм осуществлялась по справочным данным [19].

Дифференциально-термический анализ (ДТА) проводился на приборе «Deridalograf» системы Паулик и Эрден (Венгрия) при скорости изменения температуры 7,5 и 10 град/мин.

Огнеупорность СНКВ и жаростойкого бетона определяли по методике [20].

Физико-механические и термические свойства жаростойкого бетона определяли по ГОСТ 20910-90 «Бетоны жаростойкие».

Жугинисов М.Т., Мырзахметов М.М., Сартаев Д.Т., Орынбеков Е.С. Жаростойкий бетон на основе феррохромового шлака

### Описание исследования

В данной работе приводятся результаты исследований силикат-натриевого композиционного вяжущего (СНКВ) и жаростойкого бетона на основе углеродистого феррохромового шлака Актюбинского завода ОАО «Феррохром». Феррохромовый шлак представляет собой кусковой материал в виде щебня темно-серого цвета. Насыпная плотность шлака  $1670 \text{ кг/м}^3$ .

По данным РФА феррохромовый шлак представлен шпинелью ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ) с линиями  $d, \text{ \AA}$ : 4.69-3.73-2.87-2.45-2.02-1.431; форстеритом ( $\text{Mg}_2(\text{SiO}_4)$ ) с линиями  $d, \text{ \AA}$ : 5.107-3.882-3.491-2.762-2.349-2.263-2.158-1.747-1.495-1.392; маггемитом ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) с линиями  $d, \text{ \AA}$ : 3.00-2.51 -2.11-1.616-1.565-1.476 (рисунок 1а). Таким образом, фазовый состав представлен в основном форстеритом и шпинелью, которые являются основными фазами некоторых огнеупорных материалов и изделий [21].

На термоаналитической кривой феррохромового шлака не зафиксированы эндо- и экзотэффекты, что свидетельствует о завершенности структурообразования и фазообразования (рис. 1б).

### Составы с силикат-натриевым композиционным вяжущим

В таблице 1 приведены составы и свойства композиционного вяжущего, полученного совместным помолом силикат-глыбы и феррохромового шлака до удельной поверхности  $2800\text{--}3000 \text{ см}^2/\text{г}$ . Насыпная плотность вяжущего после помола в течение 4 часов: СГФШ-1 –  $1075 \text{ кг/м}^3$ , СГФШ-2 –  $1070 \text{ кг/м}^3$ , СГФШ-3 –  $1050 \text{ кг/м}^3$ . С повышением в составе вяжущего содержания силикат-глыбы его насыпная плотность снижается.

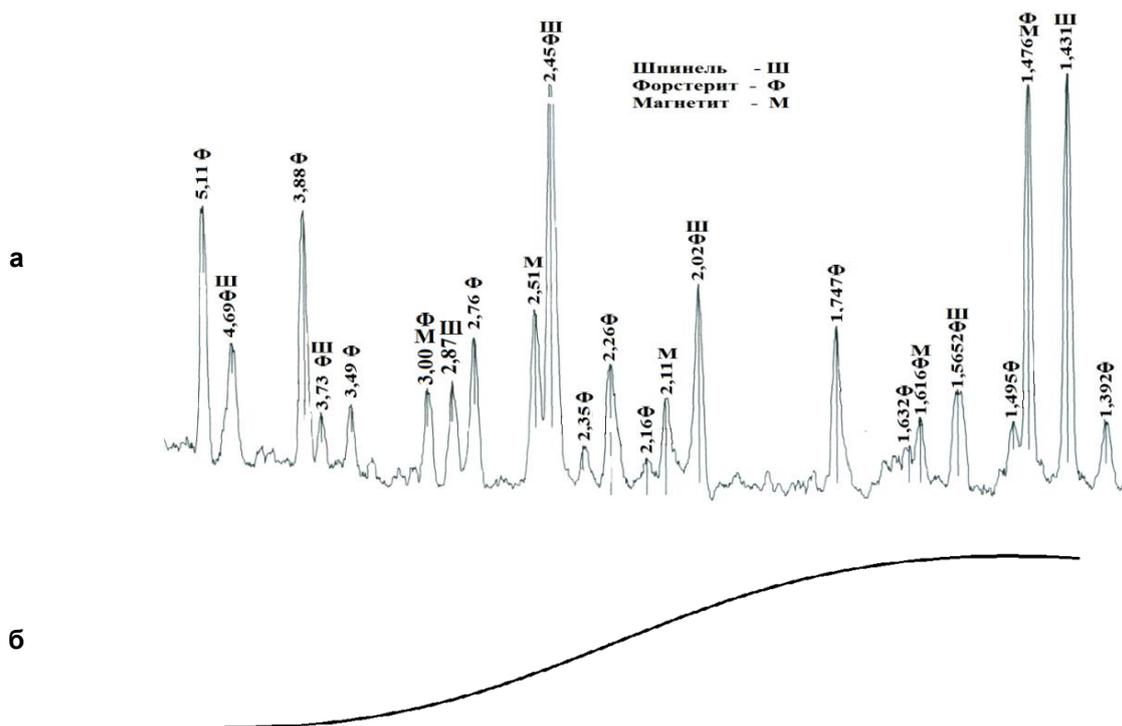


Рисунок 1. РФА (а) и ДТА (б) феррохромового шлака

Для установления физико-механических свойств СНКВ были изготовлены и испытаны стандартные образцы – балочки размерами  $4 \times 4 \times 16 \text{ см}$ . Формовочная влажность вяжущих составила  $19\text{--}20 \%$ . Формы с вяжущим устанавливали на виброплощадку и подвергали вибрированию до появления на поверхности «молочка» вяжущего. Твердение СГФШ осуществлялось по двухступенчатому режиму сушки в сушильном шкафу.

Первая ступень: подъем температуры до  $90\text{--}95 \text{ }^\circ\text{C}$  в течение 1,5 часов, выдержка при этой температуре – 2 часа.

Вторая ступень сушки: подъем температуры до  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  в течение 1,5 часов, выдержка – 2 часа.

Жугинисов М.Т., Мырзахметов М.М., Сартаев Д.Т., Орынбеков Е.С. Жаростойкий бетон на основе феррохромового шлака

Таблица 1. Составы и свойства силикат-натриевого вяжущего

№ состава	Состав, мас.%		Свойства			
	ФХШ	Силикат-глыба	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	R <sub>сж</sub> , МПа	R <sub>изг</sub> , МПа	Огнеупорность, °С
СГФШ-1	90	10	2034	27,4	1,5	1420
СГФШ-2	85	15	2032	35,1	3,0	1390
СГФШ-3	80	20	2029	33,5	2,3	1350

Несмотря на то, что по данным таблицы 1 наиболее высокой прочностью на сжатие и изгиб обладает образец вяжущего состава СГФШ-3, для дальнейших исследований нами выбран состав СГФШ-2, так как прочность данного вяжущего достаточна для получения отпускной прочности жаростойкого бетона на его основе. Увеличение же содержания силикат-глыбы (плавня) приводит к ухудшению термомеханических показателей при высоких температурах [9, 11]. Подбор оптимального режима тепловой обработки образцов проводился на вяжущем составе СГФШ-2. Результаты определения прочностных свойств вяжущего после тепловой обработки по разным режимам приведены в таблице 2.

Таблица 2. Влияние режимов тепловой обработки на прочность образцов, изготовленных на основе феррохромового шлака

№ режима	Режим сушки	R <sub>изг</sub> , МПа	R <sub>сж</sub> , МПа
I	1 ступень: подъем до 90–95°С – 0,5 ч, выдержка – 1 ч; 2 ступень: подъем до 200°С – 0,5 ч, выдержка – 1 ч.	1,8	23,2
II	1 ступень: подъем до 90–95°С – 1ч, выдержка – 1 ч; 2 ступень: подъем до 200°С – 1ч, выдержка – 1 ч.	2,3	29,3
III	1 ступень: подъем до 90–95°С – 1ч, выдержка – 1,5 ч; 2 ступень: подъем до 200°С – 1 ч, выдержка-1,5 ч.	3,0	40,2
IV	1 ступень: подъем до 90–95°С-1,5 ч, выдержка – 2 ч; 2 ступень: подъем до 200°С – 1,5 ч, выдержка – 2 ч.	3,8	50,4
V	1 ступень: подъем до 90–95°С – 1 ч, выдержка – 2 ч. 2 ступень: подъем до 200°С – 1 ч, выдержка – 2 ч.	3,4	45,9

Как видно из данных таблицы 2, наиболее высокие механические свойства вяжущего СГФШ-2 получены при термической обработке по режиму IV.

На рисунке 2 приведены ДТА (а) и РФА (б) вяжущего состава СГФШ-2 после термической обработки по режиму IV. На дифрактограмме вяжущего присутствуют пики шпинели ( $MgAl_2O_4$ ) с линиями d, Å: 4.66-2.87-2.45-2.027-1.558 -1.433; форстерита ( $Mg_2(SiO_4)$ ) с линиями d, Å: 5.18-4.73-3.87-3.75-3.491-3.35-2.99-2.76-2.45-2.253-2.027-1.748-1.558-1.491-1.472-1.396; магнетита ( $\gamma-Fe_2O_3$ ) с линиями d, Å: 2.99-2.632-2.506 -2.098-1.818-1.558-1.472. Пики основных минеральных составляющих имеют более низкую интенсивность, чем в исходном шлаке. По нашему мнению, это связано с влиянием силикат-глыбы.

ДТА силикат-натриевого композиционного вяжущего СГФШ-2 показывает наличие незначительного эндозффекта при 680 °С, который связан, по нашему мнению, с размягчением силикат-глыбы. Экзотермический эффект при 940 °С связан с кристаллизацией новой фазы.

Основные процессы формирования структуры и фазобразования в жаростойком бетоне происходят в период эксплуатации при высоких температурах. В связи этим было исследовано фазобразование в композиционном вяжущем СГФШ-2 после термической обработки при температурах 500, 700, 900, 1100, 1200 и 1300 °С.

РФА силикат-натриевого композиционного вяжущего СГФШ-2 показал, что процессе термической обработки основные кристаллические фазы феррохромового шлака – шпинель ( $MgAl_2O_4$ ), форстерит ( $Mg_2(SiO_4)$ ) и маггемит ( $\gamma-Fe_2O_3$ ) – практически не претерпевают изменений. При конечной температуре 1300 °С все кристаллические фазы – маггемит ( $\gamma-Fe_2O_3$ ), форстерит ( $Mg_2(SiO_4)$ ) и шпинель ( $MgAl_2O_4$ ) – сохраняются в вяжущем СГФШ-2 с преобладанием первого. На рисунке 3 приведена дифрактограмма вяжущего СГФШ-2 после термической обработки при температуре 1300 °С в течение часа.

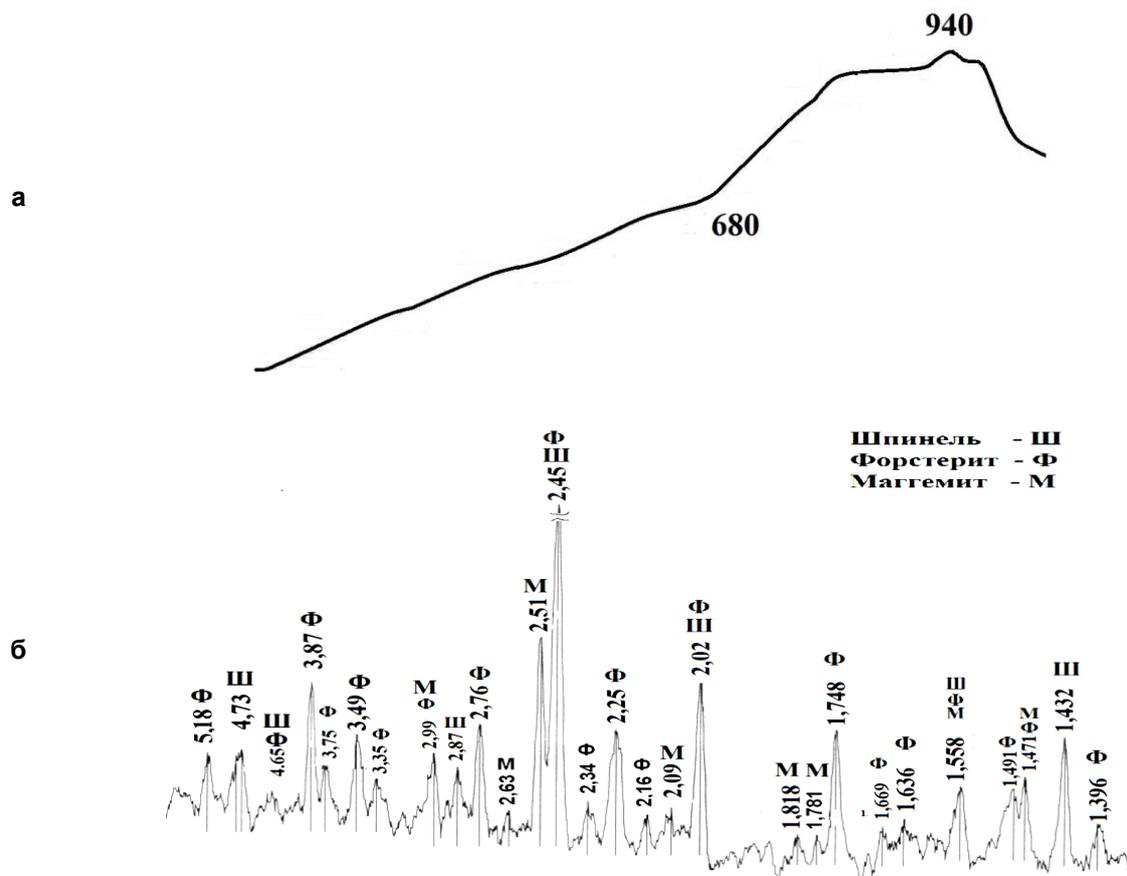


Рисунок 2. ДТА (а) и РФА (б) силикат-натриевого композиционного вяжущего СГФШ-2

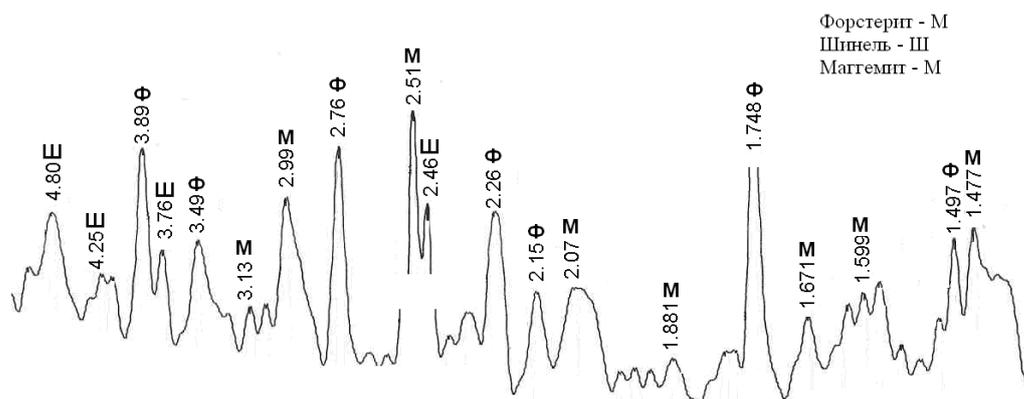


Рисунок 3. РФА силикат-натриевого композиционного вяжущего СГФШ-2 после термообработки при 1300 °С

При проектировании состава жаростойкого бетона необходимо применять близкие по своей природе и химическому составу сырьевые материалы [22]. Это объясняется тем, что в условиях высоких температур в жаростойком бетоне протекают физико-химические процессы, связанные с дегидратацией вяжущего и образованием новых химических соединений, полиморфными превращениями или жидкостным спеканием, которые сопровождаются уменьшением или увеличением объемов новообразований. Поэтому при изготовлении жаростойкого бетона использование в качестве заполнителя тех же материалов, которые применялись для изготовления вяжущего, будет способствовать снижению напряжений и появлению микротрещин в бетоне при термическом воздействии.

Жугинисов М.Т., Мырзахметов М.М., Сартаев Д.Т., Орынбеков Е.С. Жаростойкий бетон на основе феррохромового шлака

Для подбора состава жаростойкого бетона были исследованы шесть составов бетона с использованием силикат-натриевого композиционного вяжущего СГФШ-2. В качестве заполнителя был использован феррохромовый шлак следующих фракций: крупная 5–2,5 мм – 40–45 %, средняя 1,25–0,63 мм – 10–20 %, мелкая 0,315–0,16 мм – 10–20 % и менее 0,16 мм – 20 %. Количество воды подбирали при В/Т = 0,09...0,11. Необходимо отметить, что составы бетона однородны по фазовому составу, т.к. вяжущее и заполнители бетона изготовлены из углеродистого феррохромового шлака.

На первом этапе подбор состава жаростойкого бетона проводился на основании исследований [23]. Образцы-кубы размерами 7,07x7,07x7,07 см формовали виброуплотнением без пригрузки на лабораторной виброплощадке до появления на поверхности образцов «молочка» вяжущего.

Сушку проводили по режиму сушки вяжущего СГФШ-2. В результате исследования получен бетон оптимального состава с прочностью при сжатии после сушки 26,2 МПа. Двухступенчатая сушка в интервале температур 100–200 °С также способствует более полному обезвоживанию системы и повышению когезионной прочности клеевых контактов, обеспечивающих механическую прочность композиции [24]. Согласно ГОСТ 20910-90 для определения класса бетона по потере прочности после нагревания образцы бетона подвергали термообработке при температуре 800 °С в течение 4 часов с последующим охлаждением вместе с печью. Скорость нагревания бетона составляла 2,5–3 °С/мин. После охлаждения образцы бетона выдерживались над водой в течении 7 суток и затем подвергались испытанию на прочность при сжатии. Результаты исследований свойств бетона приведены в таблице 3.

### *Составы с жидким натриевым стеклом*

Нами были исследованы составы и свойства жаростойкого бетона на основе феррохромового шлака с применением в качестве вяжущего жидкого натриевого стекла. Для исследований использовали жидкое натриевое стекло с силикатным модулем 2,99 и плотностью 1,4 т/м<sup>3</sup>. Для получения сравнительных данных по свойствам бетона заполнители имели практически тот же фракционный состав, который применялся при разработке жаростойкого бетона с силикат-натриевым композиционным вяжущим. В качестве тонкомолотого наполнителя использовали молотый феррохромовый шлак, просеянный через сито 0,16 мм. Формование образцов бетона осуществлялось прессованием и виброуплотнением.

Твердение образцов бетона на жидком стекле осуществляли сушкой в температурном интервале 105±5 °С в течение 48 часов. Оптимальный состав и свойства бетона на жидком стекле приведены в таблице 3.

**Таблица 3. Составы и свойства жаростойких бетонов на основе феррохромового шлака**

№	Фракционный состав заполнителя	Содержание вяжущего	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$R_{сж}$ , МПа (класс)	Остаточная прочность $R_{сж}$ , % (после обжига 800 °С)	Температура, соответствующая 4%-ной деформации, °С	Класс бетона по предельно допустимой температуре применения
1	Фракция 2,5...0,16 мм – 75 %.	СГФШ-2 – 25 %	2444	26,2 (В 20)	80	1270	И 13
2	Фракция 2,5...0,16 мм – 86,8 %	Жидкое стекло – 13,2 %	2408	25,8 (В 20)	75,3	1270	И13

Как видно из данных таблицы 3, свойства жаростойкого бетона на силикат-натриевом композиционном вяжущем и на жидком стекле практически идентичны. Высокие механические и термические свойства бетона на жидком стекле обусловлены высокой адгезией жидкого стекла по отношению к наполнителю и заполнителю.

### Заключение

1. Разработаны составы силикат-натриевого композиционного вяжущего и жаростойкого бетона на основе углеродистого феррохромового шлака, однородных по фазовому составу.

2. Однородность фазового состава заполнителя и наполнителя бетона при высокотемпературной обработке снижает усадочные деформации и повышает трещиностойкость бетона, что способствует повышению его прочности.

3. С применением жидкого стекла на основе углеродистого феррохромового шлака разработан состав жаростойкого бетона, твердение которого осуществляется сушкой в интервале температур  $105 \pm 5$  °С без введения специального отвердителя в виде NaF.

4. Установлено, что свойства жаростойких бетонов на силикат-натриевом-композиционном вяжущем и на жидком стекле практически идентичны, что свидетельствует о взаимозаменяемости вяжущих и имеет практическую значимость.

5. Основные кристаллические фазы форстерит, шпинель и маггемит, присутствующие в бетоне, при высокотемпературной обработке не претерпевают изменений, что является показателем их высокой огнеупорности.

6. Разработанные составы жаростойких бетонов по предельно допустимой температуре применения соответствуют классу бетона И13 и могут быть использованы для разработки технологии жаростойких изделий на их основе с температурой применения до 1300 °С.

*Работа выполнена в рамках гранта на финансирование научных исследований № 0112PK00380.*

### Литература

1. Ганник Н.И. Жаростойкие бетоны на основе жидкого стекла, шлака. Автореф. дисс...канд. техн. наук. Днепропетровск, 1990. 17 с.
2. Кононов В.П. Прочностные и деформативные свойства шлакощелочных высокопрочных бетонов на основе высокомодульного жидкого стекла. Автореф. дисс...канд. техн. наук. Киев: КИСИ, 1990. 19 с.
3. Приходько А.П., Дибров Г.Д. Жаростойкий бетон на вяжущем из жидкого стекла и алюмокальциевого (синтетического) шлака // Тез. докл. Всес. конф. «Жаростойкий бетон и железобетон на основе металлургических шлаков, вермикулита и их применение в тепловых агрегатах промышленности строительных материалов». Челябинск, 1977. 290 с.
4. Хрипун Н.Д. Жаростойкий бетон на портландцементе и жидком стекле с заполнителями из шлаков марганцевых ферросплавов. Автореф. дисс... канд. тех. наук. М.: НИИБиЖБ, 1988. 25 с.
5. Позднякова Н.К. Жаростойкий торкретбетон на жидком стекле. Автореф. дисс....канд. тех. наук. М.: ВНИИ Монтажспецстрой, 1974. 20 с.
6. Абылгазин Д.Ж. Жаростойкий бетон с применением шлаков феррохромового производства. Автореф. дисс....канд. тех. наук. М.: МГСУ, 1995. 18 с.
7. Тарасова А.П. Жаростойкие вяжущие на жидком стекле и бетоны на их основе. М.: Стройиздат, 1982. 133 с.
8. Рыбалкин В.П. Безобжиговый жаростойкий кремнеземистый бетон на силикат-натриевом композиционном вяжущем. Автореф. дисс....канд. тех. наук. М.: МИСИ, 1987. 22 с.
9. Горлов Ю.П., Меркин А.П., Зейфман М.И., Тотурбиев Б.Д. Жаростойкие бетоны на основе композиций из природных техногенных стекол. М.: Стройиздат, 1966. 143 с.
10. Горлов Ю.П., Чеченов В.А., Тотурбиев Б.Д. Жаростойкий высокоглиноземистый бетон на силикат-натриевом вяжущем // Бетон и железобетон. 1986. №10. С. 6–8.
11. Тотурбиев Б.Д. Строительные материалы на основе силикат-натриевых композиций. М.: Стройиздат, 1988. 208 с.
12. Буров В.Ю. Жаростойкие бетоны для футеровки зоны спекания цементных вращающихся печей. Дис. докт. техн. наук. М.: МГСУ, 1994. 268 с.

Жугинисов М.Т., Мырзахметов М.М., Сартаев Д.Т., Орынбеков Е.С. Жаростойкий бетон на основе феррохромового шлака

13. Чеченов В.А. Высокоглиноземистый жаростойкий бетон на силикат-натриевом композиционном вяжущем. Автореф. дисс....канд. техн. наук. М.: МИСИ, 1986. 16 с.
14. Мантуров З.А. Выбор рациональных технологических параметров жаростойкого бетона на основе силикат-натриевых композиционных вяжущих. // Инженерно-строительный журнал. 2012. №3. С. 63–68.
15. Парамазова Ф.Ш. Жаростойкий бетон на комплексном вяжущем. Автореф. канд. тех. наук. Ростов на Дону: РДАС, 1996. 20 с.
16. Jong-Pil Won, Soo-Hwan Kim, Su-Jin Lee, Se Jin Choi. Special Section on Recycling Wastes for Use as Construction Materials // Construction and Building Materials Journal. 2013. Vol. 40. Pp. 753–762.
17. Building Structure and Materials Research Department, Research Institute of Industrial Science and Technology, Republic of Korea, Incheon. Pp. 406–840.
18. Choi Se-Jin, Kim. Soo-Hwan, Lee. Su-Jin, Won. Rosa, Won. Jong-Pil, Fireproof high-strength concrete // Construction and Building Materials. 2013. Vol. 38. Pp. 181–187.
19. Михеев И.А. Рентгенографический определитель минералов. М., 1957. 860 с.
20. ГОСТ 4069-69. Огнеупоры и огнеупорное сырье. Метод определения огнеупорности. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1970.
21. Стрелов К.К. Структура и свойства огнеупоров. М.: Metallurgy, 1982. 208 с.
22. Стрелов К. К. Теоретические основы технологии огнеупорных материалов. М.: Metallurgy, 1985. 408 с.
23. Шарипова Г.А. Безобжиговый жаростойкий кремнеземистый бетон на силикатно-натриевом композиционном вяжущем. Магистерская диссертация. Алматы: КаГАСА, 2004. 98 с.
24. Матвеев М.А. Растворимость стеклообразных силикатов натрия. М.: Промстройиздат, 1957. 108 с.

*Маратбек Турабайулы Жугинисов, г. Алматы, Казахстан  
Тел. раб.: +7(727)2577177; эл. почта: maratbek51@mail.ru*

*Менлибай Мырзахметович Мырзахметов, г. Алматы, Казахстан  
Тел. раб.: +7(727)2396591; эл. почта: myrzahmetov@mail.ru*

*Даулет Турысович Сартаев, г. Алматы, Казахстан  
Тел. раб.: +7(727)2577402; эл. почта: sartayev\_d@mail.ru*

*Елжан Серикович Орынбеков, г. Алматы, Казахстан  
Тел. раб.: +7(727)2577402; эл. почта: eljan\_79@mail.ru*

© Жугинисов М.Т., Мырзахметов М.М., Сартаев Д.Т., Орынбеков Е.С., 2014

doi: 10.5862/MCE.51.5

## Heat-resistant ferrochrome slag based concrete

**M.T. Zuginisov**

Kazakh National Technical University named after K.I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan  
+77272577177; e-mail: maratbek51@mail.ru

**M.M. Myrzahmetov**

Kazakh National Technical University named after K.I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan  
+77272396591; e-mail: myrzahmetov@mail.ru.

**D.T. Sartayev**

Kazakh National Technical University named after K.I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan  
+77272577402; e-mail: sartayev\_d@mail.ru

**Ye.S. Orynbekov**

Kazakh National Technical University named after K.I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan  
+77272577402; e-mail: eljan\_79@mail.ru

### Key words

heat-resistant concrete; ferrochrome slag; filler; silicate-sodium compositional binder; liquid glass; drying; fire resistance

### Abstract

In the construction materials industry, expensive refractories (fire clay, silica, high- aluminous, etc.), are used as the main lining materials which despite their high fire resistance are inefficient for the use in thermal aggregates with an operation temperature up to 1300 °C.

The purpose of the research was to develop heat-resistant concrete on the basis of sodium silicate binder and liquid glass with application of ferrochrome slag. Studies on the use of ferrochrome slag to obtain heat-resistant concrete are quite limited. It is common to apply self-scattered ferrochrome slag as a hardener when liquid glass is used. Carbonaceous ferrochrome slag is used when getting sodium silicate binder and as a filler together with other fire-resistant materials. Therefore, development of low-component heat-resistant concrete, which contains in the binder and filler the same raw materials with uniform-phase structure, represents a certain scientific and practical interest.

On the basis of carbonaceous ferrochrome slag, sodium silicate binder and heat-resistant concrete with uniform-phase structure have been developed. Also a heat-resistant concrete mix has been developed with an application of liquid glass and without any special hardener. Curing of concrete on sodium silicate binder was carried out by drying in the range of temperatures of 100-200 ° C, curing of concrete on liquid glass was done with drying in the range of temperatures of 105±5 oC. Compression strength of concrete on sodium silicate binder after drying was 26.2 MPa, compression strength of concrete on liquid glass was 25.8 MPa.

### References

1. Gannik N.I. *Zharostoykiye betony na osnove zhidkogo stekla, shlaka* [Heat resisting concrete on the basis of liquid glass, slag]. Abstract of PhD thesis. Dnepropetrovsk, 1990. 17 p. (rus)
2. Kononov V.P. *Prochnostnye i deformativnye svoystva shlakoshchelochnykh vysokoprochnykh betonov na osnove vysokomodulnogo zhidkogo stekla* [Strength and deformation properties lime-slag high-strength concrete on the basis of high modulus waterglass]. Abstract of PhD thesis. Kiyev: KISI, 1990. 19 p. (rus)
3. Prikhodko A.P., Dibrov G.D. *Zharostoyky beton na vyazhushchem iz zhidkogo stekla i alyumokaltsiyevogo (sinteticheskogo) shlaka* [Refractory concrete on the binder of liquid glass and synthetic slag]. *Tez. dokl. Vses. konf. «Zharostoyky beton i zhelezobeton na osnove metallurgicheskikh shlakov, vermikulita i ikh primeneniye v teplovykh agregatakh promyshlennosti stroitelnykh materialov»* [Abstracts of All-Union Conference "Refractory concrete and reinforced concrete on the basis of metallurgical slags, vermiculite and their application in thermal units building materials industry"]. Chelyabinsk, 1977. 290 p. (rus)
4. Khripun N.D. *Zharostoykiy beton na portlandtsemente i zhidkom stekle s zapolnitelyami iz shlakov margantsevykh ferrosplavov* [Refractory concrete on portland cement and water glass with aggregates from slag manganese ferroalloys]. Abstarct of PhD thesis. Moscow: NIIBiZhB, 1988. 25 p. (rus)
5. Pozdnyakova N.K. *Zharostoykiy torkretbeton na zhidkom stekle* [Refractory gunite on liquid glass]. Abstract of PhD thesis. Moscow: VNII Montazhspechstroy, 1974. 20 p. (rus)

Zuginisov M.T., Myrzahmetov M.M., Sartayev D.T., Orynbekov Ye.S. Heat-resistant ferrochrome slag based concrete

6. Abylgazin D.Zh. *Zharostoykiy beton s primeneniym shlakov ferrokromovogo proizvodstva* [Heat-resistant concrete using slag of ferrochrome production]. Abstract of PhD thesis. Moscow: MGSU, 1995. 18 p. (rus)
7. Tarasova A.P. *Zharostoykiye vyazhushchiye na zhidkom stekle i betony na ikh osnove* [Heat-resistant binding on liquid glass and concrete on their basis]. Moscow: Stroyizdat, 1982. 133 p. (rus)
8. Rybalkin V.P. *Bezobzhigovy zharostoykiy kremnezemisty beton na silikat-natriyevom kompozitsionnom vyazhushchem* [Chemically bonded refractory siliceous concrete on sodium silicate composite binders]. Abstract of PhD thesis. Moscow: MISI, 1987. 22 p. (rus)
9. Gorlov Yu.P., Merkin A.P., Zeyfman M.I., Toturbiyev B.D. *Zharostoykiye betony na osnove kompozitsiy iz prirodnykh tekhnogennykh stekol* [Heat resisting concrete on the basis of the compositions of the natural technogenic glasses]. Moscow: Stroyizdat, 1966. 143 p. (rus)
10. Gorlov Yu.P., Chechenov V.A., Toturbiyev B.D. *Zharostoykiy vysokoglinozemisty beton na silikat-natriyevom vyazhushchem* [High alumina refractory concrete on the sodium silicate binder]. *Beton i zhelezobeton*. 1986. No. 10. Pp. 6–8. (rus)
11. Toturbiyev B.D. *Stroitelnye materialy na osnove silikat-natriyevykh kompozitsiy* [Building materials based on sodium silicate compositions]. Moscow: Stroyizdat, 1988. 208 p.
12. Burov V.Yu. *Zharostoykiye betony dlya futerovki zony spekaniya zementnykh vrashchyushchikhsya pechey* [Heat-resistant concrete for lining of sintering zone of cement rotary kilns]. Doctoral dissertation. Moscow: MGSU, 1994. 268 p. (rus)
13. Chechenov V.A. *Vysokoglinozemisty zharostoykiy beton na silikat-natriyevom kompozitsionnom vyazhushchem* [High alumina refractory concrete on sodium silicate composite binders]. Abstract of PhD thesis. Moscow: MISI, 1986. 16 p. (rus)
14. Manturov Z.A. *Vybor ratsionalnykh tekhnologicheskikh parametrov zharostoykogo betona na osnove silikat-natriyevykh kompozitsionnykh vyazhushchikh* [Determining the rational technological parameters of heatresistant concrete produced with sodium silicate binder]. *Magazine of Civil Engineering*. 2012. No. 3(29). Pp. 63-68. (rus)
15. Paramazova F.Sh. *Zharostoykiy beton na kompleksnom vyazhushchem* [Refractory concrete on the complex binder]. Abstract of PhD thesis. Rostov on Don: RDAS, 1996. 20 p. (rus)
16. Jong-Pil Won., Soo-Hwan Kim., Su-Jin Lee., Se Jin Choi. Special Section on Recycling Wastes for Use as Construction Materials. *Construction and Building Materials Journal*. 2013. Vol. 40. Pp. 753–762.
17. *Building Structure and Materials Research Department*, Research Institute of Industrial Science and Technology, Republic of Korea, Incheon Pp. 406–840.
18. Choi Se-Jin, Kim Soo-Hwan, Lee Su-Jin, Won Rosa, Won Jong-Pil. Fireproof high-strength concrete. *Construction and Building Materials*. 2013. Vol. 38. Pp. 181–187.
19. Mikheyev I.A. *Rentgenografichesky opredelitel mineralov* [Radiographic determinant of minerals]. Moscow, 1957. 860 p. (rus)
20. GOST 4069-69. *Ogneupory i ogneupornoye syrye. Metod opredeleniya ogneupornosti* [Refractories and refractory raw materials. Method for determination of the fire resistance]. Moscow: Gosudarstvennyy komitet SSSR po standartam, 1970. (rus)
21. Strelov K.K. *Struktura i svoystva ogneuporov* [The structure and properties of the refractories]. Moscow: Metallurgiya, 1982. 208 p. (rus)
22. Strelov K. K. *Teoreticheskiye osnovy tekhnologii ogneupornykh materialov* [Theoretical bases of technology of refractory materials]. Moscow: Metallurgiya, 1985. 408 p. (rus)
23. Sharipova G.A. *Bezobzhigovy zharostoykiy kremnezemisty beton na silikatno-natriyevom kompozitsionnom vyazhushchem* [Chemically bonded refractory siliceous concrete on sodium silicate composite binders]. Master's thesis. Almaty: KaGASA, 2004. 98 p. (rus)
24. Matveyev M.A. *Rastvorimost stekloobraznykh silikatov natriya* [The solubility of glassy sodium silicates]. Moscow: Promstroyizdat, 1957. 108 p. (rus)

**Full text of this article in Russian: pp. 38–45**