

УДК 669:054.8:666.76

## ОГНЕУПОРНЫЕ ШАМОТНЫЕ ИЗДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ФУТЕРОВКИ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ ЛИТЕЙНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Гладких И.В.*, к.т.н., доцент кафедры «Металлургические технологии и оборудование» ([annagladkih78@mail.ru](mailto:annagladkih78@mail.ru))

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева  
(603022, Россия, Нижний Новгород, ул. Минина, 24)

**Аннотация.** Представлены результаты исследования возможности использования отходов огнеупорных материалов, шлаков электросталеплавильного производства, отходов вскрышных пород в качестве техногенного сырья для изготовления огнеупорных материалов, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 390-96 «Изделия огнеупорные шамотные и полукислые общего назначения и массового производства». В качестве вяжущего применялась водная керамическая вяжущая суспензия (ВКВС), полученная механической активацией микрокремнеземистой пыли в щелочной среде с  $\text{pH} = 11 - 12$ . В качестве добавки, увеличивающей термостойкость огнеупорных материалов, использовался саморассыпающийся сталеплавильный шлак, характеризующийся повышенным (до 70 %) содержанием силикатов кальция  $\gamma\text{-}2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ . В качестве пластифицирующей добавки применялась огнеупорная глина вскрышных пород с показателем пластичности 21 – 29, огнеупорностью 1450 °С. В основу получения огнеупорных материалов на основе техногенного сырья была положена технология керамобетона с «плавающим» каркасом. Полученные материалы подвергались двухступенчатой сушке при температурах 60 – 70 и 120 – 130 °С, обжиг изделий отсутствовал. Исследовано влияние содержания шлака в шихте и гранулометрического состава огнеупорного заполнителя на качественные показатели изделий. Установлено, что увеличение доли шлака в шихте способствует росту термостойкости огнеупоров на 55 – 72 %. В тоже время при содержании шлака более 20 % (по массе) прочность огнеупорных материалов снижается на 20 – 30 %. Гранулометрический состав заполнителя оказывает влияние на прочностные характеристики материала, однако при содержании шлака более 10 % (по массе) это влияние нивелируется. Установлены оптимальные составы шихт и способы формообразования, обеспечивающие получение высококачественных огнеупорных материалов на основе техногенного сырья. Методом сухого прессования получены шамотные огнеупорные изделия марок ШБ (открытая пористость 24 %, прочность на сжатие 25 МПа, огнеупорность 1680 °С). Методом виброуплотнения с использованием глины вскрыши получены огнеупоры, соответствующие марке ШВ (открытая пористость 26 %, прочность на сжатие 18 МПа, огнеупорность 1660 °С). Огнеупорные материалы на основе техногенного сырья могут быть рекомендованы для использования в качестве альтернативных материалов для футеровки различных типов тепловых агрегатов и элементов их конструкций в литейно-металлургическом производстве с максимальной температурой применения 1250 °С.

**Ключевые слова:** огнеупорные материалы, алюмосиликатные изделия, техногенное сырье, металлургические шлаки, отходы, тепловые агрегаты.

DOI: 10.17073/0368-0797-2017-11-857-861

На предприятиях литейно-металлургического производства для футеровки тепловых агрегатов и элементов их конструкций широкое распространение получили алюмосиликатные огнеупорные материалы. Основное применение имеют шамотные изделия, содержащие 28 – 45 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 55 – 72 %  $\text{SiO}_2$ , которыми футеруют шахты и воздухоподогреватели вагранок, раздаточные и разливочные ковши, нагревательные и термические печи, дымоходы и дымовые трубы [1 – 3].

Шамотные огнеупорные материалы получают путем обжига сырца, сформованного из смеси каолина или огнеупорных глин (огнеупорность глин не ниже 1580 °С) и шамота. Наряду с традиционным природным сырьем, применяемым для производства шамотных изделий, в настоящее время все большую популярность приобретают различного рода отходы, используемые в качестве техногенного сырья. Вовлечение в переработку техногенных отходов способствует

снижению материалоемкости продукции, экономии сырьевых ресурсов, и, как следствие, уменьшению негативного воздействия на окружающую среду. Так, согласно экспертным оценкам, использование 1 т боя алюмосиликатных огнеупоров в качестве техногенного сырья для изготовления шамотных огнеупорных материалов позволяет сэкономить до 1,5 т огнеупорной глины, 0,15 т условного топлива, до  $1,4 \cdot 10^5$  Дж электроэнергии [4 – 6]. Кроме того, использование отходов огнеупоров способствует исключению высокотемпературного обжига из технологического процесса производства шамотных огнеупорных изделий, что позволяет снизить удельный выход оксида углерода до 5 кг/т готовой продукции, оксидов азота до 6 кг/т, диоксида серы до 7,5 кг/т [7, 8].

В настоящей работе представлены результаты исследований возможности использования техногенного сырья для получения безобжиговых огнеупорных материалов, удовлетворяющих требованиям ГОСТ 390-96

«Изделия огнеупорные шамотные и полукислые общего назначения и массового производства», которые применяются для футеровки различных тепловых агрегатов и элементов их конструкций литейных заводов машиностроительного производства. Для изготовления огнеупорных материалов использовались следующие виды техногенного сырья: лом шамотного кирпича, бывшего в употреблении (в качестве огнеупорного заполнителя), саморассыпающийся шлак электросталеплавильного производства (в качестве добавки, повышающей термостойкость огнеупоров), огнеупорная глина вскрышных пород (в качестве пластификатора).

В качестве вяжущего использовали водную керамическую вяжущую суспензию (ВКВС), полученную механической активацией микрокремнеземистой пыли в щелочной среде с  $\text{pH} = 11 - 12$  [9]. Материалы, полученные на основе ВКВС, для которой свойственен полимеризационный характер твердения, не требуют обжига и отличаются высокими прочностными свойствами, кислотостойкостью, абсолютной влагостойкостью, огнеупорностью, экологичностью [10 – 15].

Водная керамическая вяжущая суспензия имела плотность  $1,35 - 1,4 \text{ г/см}^3$  и вязкость  $1,20 - 1,56 \text{ Па}\cdot\text{с}$ , что сопоставимо с аналогичными показателями жидкого стекла.

Огнеупорный заполнитель на основе техногенного сырья характеризовался следующим химическим составом, % (по массе):  $33,22 \text{ Al}_2\text{O}_3$ ;  $51,60 \text{ SiO}_2$ ;  $1,05 \text{ Fe}_2\text{O}_3$ ;  $0,53 \text{ CaO}$ ;  $1,20 \text{ TiO}_2$ ;  $0,57 \text{ MgO}$ ;  $3,13 \text{ Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ;  $8,60 \text{ п.п.}$ . Фракционный состав заполнителя находился в пределах  $0 - 1 \text{ мм}$ , средний размер частиц составлял  $0,469 \text{ мм}$ . Огнеупорность заполнителя  $1690 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Саморассыпающийся шлак электросталеплавильного производства представляет собой тонкодисперсный материал с удельной поверхностью  $1400 \text{ м}^2/\text{кг}$ , крупностью частиц  $1 - 10 \text{ мкм}$ , в том числе с содержанием частиц размером менее  $8 \text{ мкм}$  более  $40 \%$ . Химический состав шлака, % (по массе):  $45 - 50 \text{ CaO}$ ;  $10 - 20 \text{ SiO}_2$ ;  $6 - 15 \text{ MgO}$ ;  $6 - 12 \text{ MnO}$ ;  $5 - 7 \text{ Al}_2\text{O}_3$ ;  $4 - 6 \text{ Fe}_2\text{O}_3$ ;  $0,5 - 1,5 \text{ P}_2\text{O}_5$ . Высокая доля (до  $70 \%$ ) содержания в сталеплавильном шлаке силикатов кальция  $\gamma\text{-}2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  предопределила возможность его использования в качестве добавки, повышающей термостойкость огнеупорных материалов [16 – 18].

Огнеупорная глина вскрышных пород является среднежестким (показатель пластичности  $\Pi = 21 - 29$ ), полукислым ( $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$  составляет  $31,48 \%$ ), огнеупорным (огнеупорность  $1450 \text{ }^\circ\text{C}$ ) техногенным сырьем следующего химического состава, % (по массе):  $52,92 \text{ SiO}_2$ ;  $30,80 \text{ Al}_2\text{O}_3$ ;  $0,10 \text{ Fe}_2\text{O}_3$ ;  $0,30 \text{ CaO}$ ;  $0,40 \text{ MgO}$ ;  $0,68 \text{ TiO}_2$ ;  $0,70 \text{ K}_2\text{O}$ ;  $14,10 \text{ п.п.}$ . Основная масса частиц глины ( $76,2 \%$ ) имеет крупность менее  $0,2 \text{ мм}$ , средний размер составляет  $0,11 \text{ мм}$ .

В основу получения огнеупорных материалов на основе техногенного сырья была положена технология керамобетона с «плавающим» каркасом [13, 20]. Керамобетоны представляют собой полифракционные

материалы, в которых зерна заполнителя «втоплены» в затвердевшую матрицу из ВКВС. Материалы с «плавающим» каркасом характеризуются наличием прослойки ВКВС между зёрнами заполнителя, при котором из мелких частиц заполнителя, находящихся в молекулярном поле крупных, возникает жесткая решетка повышенной прочности [19 – 21].

Исследования проводились на кубических образцах огнеупорных материалов со стороной грани  $100 \text{ мм}$ , полученных трамбованием и виброформованием (частота колебаний  $3000 \text{ кол/мин}$ , амплитуда колебаний  $0,35 \text{ мм}$ ), и цилиндрах диаметром  $40 \text{ мм}$ , высотой  $50 \text{ мм}$ , отформованных прессованием (при давлении  $5 \text{ МПа}$ ). Изучались составы с содержанием огнеупорного заполнителя  $45 - 90 \%$  (по массе), шлака электросталеплавильного производства  $0 - 25 \%$  (по массе), глины вскрыши  $10 \%$  (по массе) (для виброуплотненных образцов). Количество ВКВС для трамбованных и виброуплотненных образцов составляло  $20 \%$  (по массе), для прессованных –  $10 \%$  (по массе). Выдержка сырцов-материалов проводилась на воздухе при температуре  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Сушка образцов осуществлялась в два этапа: при температуре  $60 - 70$  и  $120 - 130 \text{ }^\circ\text{C}$  по  $12 \text{ ч}$  в течение каждого этапа. Качество полученных образцов оценивалось по следующим показателям: открытая пористость, прочность на сжатие, термостойкость и огнеупорность.

Исследовано влияние шлака электросталеплавильного производства на термостойкость образцов огнеупорных материалов. Установлено, что увеличение его количества в шихте способствует росту термостойкости образцов на  $55 - 72 \%$ , однако при его содержании выше  $20 \%$  (по массе) этой тенденции не наблюдается (рис. 1).

При изучении прочностных свойств образцов огнеупорных материалов на основе техногенного сырья

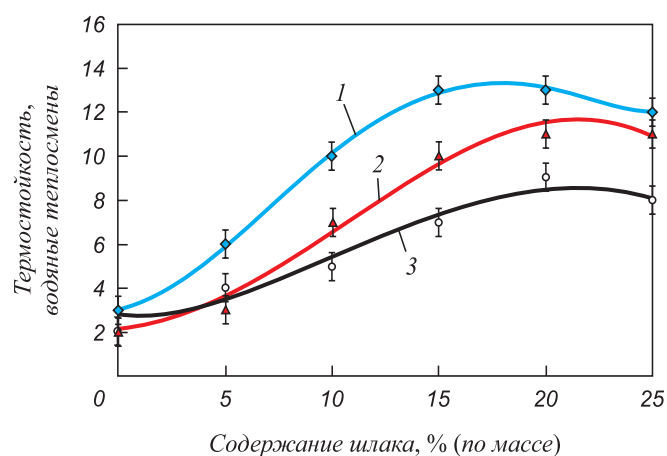


Рис. 1. Влияние содержания шлака на термостойкость образцов огнеупорных материалов:

1 – прессование; 2 – виброуплотнение; 3 – трамбование

Fig. 1. Influence of slag content on the thermal stability of samples of refractory materials:

1 – extrusion; 2 – vibration compaction; 3 – tamping

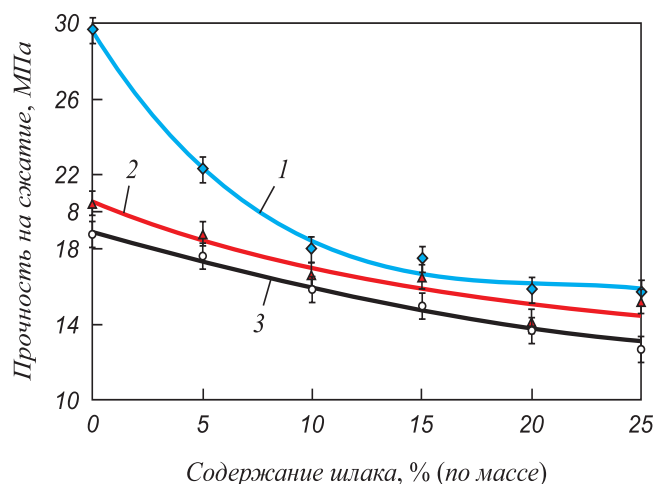


Рис. 2. Влияние содержания шлака на предел прочности при сжатии огнеупорного материала:  
1 – прессование; 2 – виброуплотнение; 3 – трамбование

Fig. 2. Influence of slag content on yield strength at compression of refractory materials:  
1 – extrusion; 2 – vibration compaction; 3 – tamping

выявлена четко выраженная зависимость между увеличением содержания шлака и снижением прочности (рис. 2). Установлено, что при достижении содержания шлака 20 % (по массе), потеря прочности составляет 20 – 30 %. Таким образом, для обеспечения оптимального соотношения термостойкость – прочность (7 – 13 водяных теплосмен – 15 – 25 МПа) в шихту целесообразно вводить 10 – 15 % (по массе) шлака.

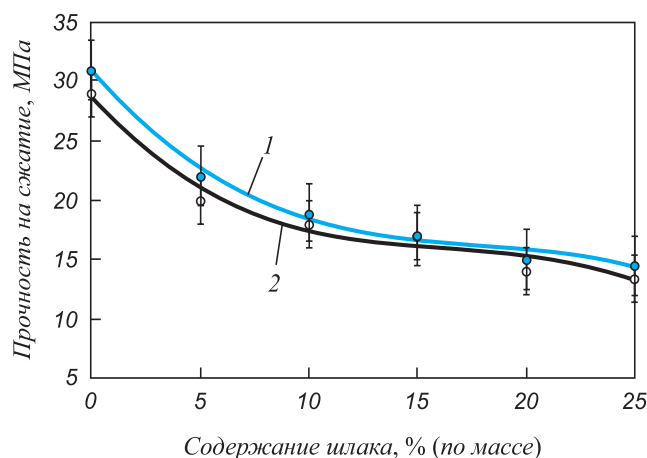


Рис. 3. Влияние гранулометрического состава шамотного заполнителя и содержания шлака на прочность образцов огнеупорных материалов:

1 – непрерывная гранулометрия; 2 – прерывистая гранулометрия

Fig. 3. Influence of particle size distribution of shamoto filler and content of slag on durability of samples of refractory materials:  
1 – continuous granulometry; 2 – discontinuous granulometry

Исследовано совокупное влияние гранулометрического состава огнеупорного заполнителя и содержания шлака на прочностные характеристики прессованных образцов. Установлено, что более высокая прочность полученных огнеупорных материалов достигается при использовании непрерывной гранулометрии заполнителя (фракция 1,0 – 0 мм) по сравнению с прерывистой (фракции (1,0 – 0,63 мм):(менее 0,4 мм) в соотношении 30:70 %). Однако при содержании шлака более

**Сравнительные характеристики огнеупорных шамотных и полукислых изделий общего назначения и массового производства (по ГОСТ 390-96) и огнеупорных материалов на основе техногенного сырья**

**Comparative characteristics of refractory fireclay and polycyclic products of general purpose and mass production (GOST 390-96) and refractories based on technogenic raw materials**

Номер состава шихты	Марка, состав, %	Массовая доля Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , не менее, %	Пористость открытая, %	Прочность на сжатие, МПа	Термостойкость, водяные теплосмены (при температуре 950 °С)	Огнеупорность, °С	Максимальная температура применения, °С
Изделия огнеупорные шамотные и полукислые общего назначения и массового производства (по ГОСТ 390-96)							
1	ША	30	30	15	–	1690	1400
2	ШБ	28	30	–	–	1650	1350
3	ШВ	28	–	13	–	1630	1250
4	ШУС	28	30	12	–	1580	1250
Огнеупорные материалы на основе техногенного сырья							
5	Заполнитель – 80, шлак – 10, ВКВС – 20 (Т)	30	30	15	8	1630	1250
6	Заполнитель – 60, шлак – 10, глина – 10, ВКВС – 20 (В)	30	26	18	11	1660	1350
7	Заполнитель – 80, шлак – 10, ВКВС – 10 (П)	30	24	25	12	1680	1400

Примечание: Т – трамбование; В – виброуплотнение; П – прессование

10 % (по массе) эта тенденция нарушается вследствие значительного влияния шлака (рис. 3).

В результате проведенных исследований установлены оптимальные составы шихт с содержанием огнеупорного заполнителя 60 – 80 % (по массе), шлака электросталеплавильного производства 10 % (по массе), глины вскрыши 10 % (по массе), ВКВС 10 – 20 % (по массе), обеспечивающие получение высококачественных огнеупорных материалов.

Сравнительный анализ характеристик полученных образцов и традиционно используемых в литейно-металлургическом производстве огнеупоров (см. таблицу) показывает, что огнеупорные материалы на основе техногенного сырья удовлетворяют требованиям ГОСТ 390-96 «Изделия огнеупорные шамотные и полукислые общего назначения и массового производства» (открытая пористость 26 – 30 %, прочность на сжатие 15 – 18 МПа, огнеупорность 1630 – 1660 °С).

По своим физико-механическим показателям огнеупорный материал на основе техногенного сырья с содержанием огнеупорного заполнителя 80 %, шлака электросталеплавильного производства 10 %, ВКВС 10 %, полученный методом сухого прессования (состав № 7), относится к марке ШБ подгруппы I (открытая пористость не более 24 %, прочность на сжатие не менее 20 МПа, огнеупорность не ниже 1650 °С). Материал, содержащий глину вскрыши (состав № 6), по своим свойствам соответствует марке ШВ (подгруппа II). Огнеупорный материал, содержащий 80 % заполнителя, 10 % шлака, 20 % ВКВС (состав № 5) по своим качественным характеристикам отвечает требованиям, предъявляемым к изделиям марки ШУС подгруппы I. Данная огнеупорная керамика относится к алюмосиликатному типу, группе низкоплотных шамотных огнеупоров.

Таким образом, на основе техногенного сырья возможно получение огнеупорных шамотных изделий марок ШБ, ШВ и ШУС, которые могут быть рекомендованы для применения в качестве альтернативных материалов для кладки различных типов тепловых агрегатов литейно-металлургических заводов машиностроительного производства с максимальной температурой применения 1250 °С.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Энтин В.И. Состояние и перспективы развития производства на огнеупорных предприятиях России // Новые огнеупоры. 2005. № 7. С. 73 – 77.
2. Служба огнеупоров: Справ. изд. / Л.М. Аксельрод и др. / Под ред. И.Д. Кашеева, Е.Е. Гришенкова. – М.: Интермет Инжиниринг, 2002. – 656 с.

3. Кашеев И.Д., Стрелов К.К., Мамыкин П.С. Химическая технология огнеупоров. – М.: Интермет Инжиниринг, 2007. – 752 с.
4. Хорошавин Л.Б. Диалектика огнеупоров. – Екатеринбург: Изд-во Екатеринбургская Ассоциация Малого Бизнеса, 1999. – 359 с.
5. Хорошавин Л.Б. Повысить внимание к вторичным огнеупорам // Новые огнеупоры. 2006. № 7. С. 39 – 42.
6. Хорошавин Л.Б., Овчинников И.И., Неволин С.Г., Юмагулов М.Х. Повышение эффективности использования вторичных огнеупоров // Огнеупоры и техническая керамика. 2001. № 2. С. 31 – 33.
7. Швыдкий В.С., Ладыгичев М.Г., Швыдкий Д.В. Теоретические основы очистки газов: Учебник для вузов. – М.: Машиностроение-1, 2001. – 502 с.
8. Ченцова Л.И. Очистка и переработка промышленных выбросов и отходов: Учеб. пособие для вузов. – Красноярск: СибГТУ, 2012. – 250 с.
9. Черепанов К.А., Гладких И.В., Черепанова В.К. Комплексная переработка и утилизация твердых дисперсных отходов в металлургии: Учеб. пособие для вузов. – Новокузнецк: СибГИУ, 2001. – 214 с.
10. Пивинский Ю.Е. Неформованные огнеупоры. – М.: Теплотехник, 2003. – 448 с.
11. Пивинский Ю.Е. Кварцевая керамика, искусственные керамические вяжущие (ВКВС) и керамобетоны – история и перспективы развития технологий. Часть 1 // Огнеупоры и техническая керамика. 2009. № 3. С. 8 – 17.
12. Пивинский Ю.Е. Кварцевая керамика, искусственные керамические вяжущие (ВКВС) и керамобетоны – история и перспективы развития технологий. Часть 2 // Огнеупоры и техническая керамика. 2009. № 4/5. С. 9 – 18.
13. Пивинский Ю.Е., Суздальцев Е.И. Кварцевая керамика и огнеупоры. В 2-х томах. Т. I. Теоретические основы и технологические процессы / Под ред. Ю.Е. Пивинского. – М.: Теплоэнергетик, 2008. – 672 с.
14. Пивинский, Ю.Е., Суздальцев Е.И. Кварцевая керамика и огнеупоры. В 2-х томах. Т. II. Материалы, их свойства и области применения // Под ред. Ю. Е. Пивинского. – М.: Теплоэнергетик, 2008. – 464 с.
15. Pivinskii Yu.E. HCBS ceramic concretes in the XXI century – problems and prospects for applying technology in the field of silicate materials science. Part 1 // Refractories and Industrial Ceramics. 2011. Vol. 52. No. 2. P. 107 – 115.
16. Гладких И.В., Куимов Д.С. Использование техногенного сырья для получения огнеупорных блоков // Изв. вуз. Черная металлургия. 2006. № 2. С. 63 – 66.
17. Гладких И.В., Волынкина Е.П. Утилизация зольных микросфер Западно-Сибирской ТЭЦ при получении безобжиговых композиционных материалов // Экология и промышленность России. 2009. Февраль. С. 32 – 34.
18. Федосенко В.А., Гонтарук Е.И., Затаковой Ю.А. и др. Совершенствование технологии первичной обработки металлургических шлаков, склонных к силикатному распаду // Сталь. 2001. № 12. С. 77 – 80.
19. Pivinskii Yu.E., Rozhkov E.V. Ceramic castables – final stage in the evolution of low-cement refractory castables. Part 3 // Refractories and Industrial Ceramics. 2003. Vol. 44. No. 3. P. 134 – 140.
20. Пивинский Ю.Е. Керамические и огнеупорные материалы: Избр. тр. Т. 2. – СПб.: Стройиздат СПб., 2003. – 668 с.
21. Пивинский Ю.Е. Реология дисперсных систем, ВКВС и керамобетоны. Элементы нанотехнологий в силикатном материаловедении: Избр. тр. Т. 3. – СПб.: Политехника, 2012. – 682 с.

Поступила 24 ноября 2016 г.

## SHAMOTTE REFRACTORY MATERIALS ON THE BASIS OF TECHNOGENIC RAW MATERIALS FOR LINING OF THERMAL UNITS OF FOUNDRY PRODUCTION

I.V. Gladkikh

Nizhny Novgorod State Technical University named after  
R.E. Alexeev, Nizhny Novgorod, Russia

**Abstract.** The article presents the research results of possibility of use of waste refractory materials, slag of electric furnace steelmaking, waste of overburden rocks as technogenic raw materials for the manufacture of refractory materials that meet the requirements of GOST 390-96 «Shamotte and semi-sour refractory products of general purpose and mass production». As a binder aqueous ceramic astringent suspension (ACAS) was used, obtained by mechanical activation of microsilica dust in an alkaline medium with pH = 11 – 12. As additives that increase the resistance of refractory materials, self-flaking steelmaking slags were used, characterized by high content (70 %) of calcium silicates ( $\gamma$ -2CaO·SiO<sub>2</sub>). As a plasticizing additive, refractory clay of overburden with a plasticity index of 21 – 29 and refractoriness of 1450 °C was used. The production technology of ceramic concrete with a «floating» framework has been the basis for receiving refractories on the basis of technogenic raw materials. The resulting materials were subjected to two stage drying at temperatures of 60 – 70 °C and 120 – 130 °C, the firing was absent. The effect of the slag content in the charge and the granulometric composition of the refractory aggregate on the quality indices of the products were studied. It was established that an increase in the proportion of slag in the charge promotes an increase in the heat resistance of refractories by 55 – 72 %. At the same time it was established that high concentrations of slag (over 20 wt. %) leads to a decrease in strength of refractory materials by 20 – 30 %. Granulometric composition of the aggregate affects the strength characteristics of the material, however, when the content of slag is 10 wt. % this effect disappears. The optimal composition of the charge compositions and methods of formation were found, providing the high-quality refractory materials based on technogenic raw materials. By a method of moist pressing, fire-resistant chamotte products of marks SHB were produced (with refractoriness not less than 1650 °C). By the method of vibrocompaction using clay overburden as the plasticizer, the resulting refractories were received, corresponding to the Marche SWISS (fire resistance not lower than 1630 °C). Refractories based on technogenic raw materials can be recommended for use as alternative materials for lining of various types of heating units and elements of their constructions of foundry and metallurgical production, with a maximum application temperature of 1250 °C.

**Keywords:** refractory materials, silica-alumina materials, technogenic raw materials, metallurgical slag, waste, parameters, high temperature units.

DOI: 10.17073/0368-0797-2017-11-857-861

### REFERENCES

- Entin V.I. Status and prospects of refractory enterprises in Russia. *Novye ognepuory*. 2005, no. 7, pp. 73-77. (In Russ.).
- Aksel'rod L.M. etc. *Sluzhba ognepuorov: sprav. izd.* [Service of refractories]. Kashcheev I.D., Grishenkov E.E. eds. Moscow: Internet Inzhiniring, 2002, 656 p. (In Russ.).
- Kashcheev I.D., Strelov K.K., Mamykin P.S. *Khimicheskaya tekhnologiya ognepuorov* [Chemical technology of refractories]. Moscow: Internet Inzhiniring, 2007, 752 p. (In Russ.).
- Khoroshavin L.B. *Dialektika ognepuorov* [Dialectic of refractories]. Ekaterinburg: Izd-vo Ekaterinburgskaya Assotsiatsiya Malogo Biznesa, 1999, 359 p. (In Russ.).
- Khoroshavin L.B. How to pay more attention to the secondary refractories. *Novye ognepuory*. 2006, no. 7, pp. 39-42. (In Russ.).
- Khoroshavin L.B., Ovchinnikov I.I., Nevolin S.G., Yumagulov M.Kh. Raising the efficiency of utilization of secondary refractories. *Refractories and Industrial Ceramics*. 2001, vol. 42, no. 1-2, pp. 80–82.
- Shvydkii V.S., Ladygichev M.G., Shvydkii D.V. *Teoreticheskie osnovy ochistki gazov: uchebnik dlya vuzov* [Theoretical foundations of gas purification: Textbook for universities]. Moscow: Mashinostroenie-1, 2001, 502 p. (In Russ.).
- Chentsova L.I. *Ochistka i pererabotka promyshlennykh vybrosov i otkhodov: ucheb. posobie dlya vuzov* [Purification and processing of industrial emissions and waste: Manual for universities]. Krasnoyarsk: SibGTU, 2012, 250 p. (In Russ.).
- Cherepanov K.A., Gladkikh I.V., Cherepanova V.K. *Kompleksnaya pererabotka i utilizatsiya tverdykh dispersnykh otkhodov v metallurgii: ucheb. posobie dlya vuzov* [Integrated processing and disposal of dispersed solid waste in metallurgy: Manual for universities]. Novokuznetsk: SibGIU, 2001, 214 p. (In Russ.).
- Pivinskii Yu.E. *Neformovannyye ognepuory* [Unshaped refractories]. Moscow: Teplotekhnika, 2003, 448 p. (In Russ.).
- Pivinskii Yu.E., Dyakin P.V. Preparation and properties of corundum HCBS and ceramic concretes. Part 1. Mixed HCBS in the system electrocorundum - Very fine quartz glass. *Refractories and Industrial Ceramics*. 2010, vol. 51, no. 1, pp. 25–31.
- Pivinskii Yu.E., Dyakin P.V. Preparation and properties of corundum HCBS and ceramic concretes. Part 2. Composition and properties of compacted ceramic concretes. *Refractories and Industrial Ceramics*. 2010, vol. 51, no. 1, pp. 32–38.
- Pivinskii Yu.E., Suzdal'tsev E.I. *Kvartsevaya keramika i ognepuory. V 2 t. T. I. Teoreticheskie osnovy i tekhnologicheskie protsessy* [Quartz ceramics and refractories. In 2 vols. Vol. I. Theoretical foundations and technological processes]. Pivinskii Yu.E. ed. Moscow: Teploenergetik, 2008, 672 p. (In Russ.).
- Pivinskii Yu.E., Suzdal'tsev E.I. *Kvartsevaya keramika i ognepuory. V 2 t. T. II. Materialy, ikh svoystva i oblasti primeneniya* [Quartz ceramics and refractories. In 2 vols. Vol. II. Materials, their properties and applications]. Pivinskii Yu.E. ed. Moscow: Teploenergetik, 2008, 464 p. (In Russ.).
- Pivinskii Yu.E. HCBS ceramic concretes in the XXI century - problems and prospects for applying technology in the field of silicate materials science. Part 1. *Refractories and Industrial Ceramics*. 2011, vol. 52, no. 2, pp. 107–115.
- Gladkikh I.V., Kuimov D.S. The use of technogenic raw materials for the refractory blocks. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2006, no. 2, pp. 63–66. (In Russ.).
- Gladkikh I.V., Volynkina E.P. Utilization of ash microspheres of the West Siberian HCBS in the production of non-combustible composite materials. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2009, February, pp. 32–34. (In Russ.).
- Fedosenko V.A., Gontaruk E.I., Zatakovoi Yu.A., Evtushenko E.I., Rubanov Yu.K. Improvement in technology for initial processing of metallurgical slag. *Stal'*. 2001, no. 12, pp. 77–80. (In Russ.).
- Pivinskii Yu.E., Rozhkov E.V. Ceramic castables - final stage in the evolution of low-cement refractory castables. Part 3.

*Refractories and Industrial Ceramics*. 2003, vol. 44, no. 3, pp. 134–140.

20. Pivinskii Yu.E. *Keramicheskie i ognepornye materialy: izbr. tr. T. 2* [Ceramic and refractory materials. Vol. 2]. St. Petersburg: Stroiizdat SPb, 2003, 668 p. (In Russ.).
21. Pivinskii Yu.E. *Reologiya dispersnykh sistem, VKVS i keramobetonu. Elementy nanotekhnologii v silikatnom materialovedenii: izbr. tr. T. 3* [Rheology of disperse systems, HCBS and ceramic concretes.

Elements of nanotechnology in silicate materials science. Vol. 3]. St. Petersburg: Politekhnik, 2012, 682 p. (In Russ.).

**Information about the author:**

**I.V. Gladkikh**, *Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Chair "Metallurgical Technology and Equipment"* ([annagladkikh78@mail.ru](mailto:annagladkikh78@mail.ru))

Received November 24, 2016

---