

18. **Пивинский, Ю. Е.** Разжижающие, пластифицирующие и упрочняющие добавки как эффективные модификаторы в технологии ВКВС и керамобетонов / Ю. Е. Пивинский // Новые огнеупоры. — 2011. — № 12. — С. 11–16; там же. — 2012. — № 2. — С. 16–23.

Pivinskii, Yu. E. Thinning, plastifying and strengthening additives as effective modifiers in HCBS and ceramic concrete technology / Yu. E. Pivinskii // Refractories and Industrial ceramics. — 2011. — Vol. 52, № 2. — P. 16–23; 2012. — Vol. 53. — P. 12–18.

19. **Пивинский, Ю. Е.** Получение и свойства корундовых ВКВС и керамобетонов. Ч. 1 / Ю. Е. Пивинский, Пав. В. Дякин // Новые огнеупоры. — 2010. — № 1. — С. 22–30; Ч. 2. — Там же. — № 2. — С. 39–46; Ч. 3. — Там же. — № 3. — С. 27–34.

Pivinskii, Yu. E. Preparation and properties of corundum HCBS and ceramic concretes. P. 1 / Yu. E. Pivinskii, Pavel V. Dyakin // Refractories and Industrial Ceramics. — 2010. — Vol. 51, № 1. — P. 25–31; P. 2. — 2010. — Vol. 51, № 1. — P. 32–38; P. 3. — 2010. — Vol. 51, № 2. — P. 88–94.

20. **Пивинский, Ю. Е.** Кварцевая керамика / Ю. Е. Пивинский, А. Г. Ромашин. — М.: Металлургия, 1974. — 264 с.

21. **А. с. 806632 СССР.** Композиция для приготовления форм / Ю. Е. Пивинский, П. Л. Митякин, В. А. Бевз, Н. Н. Тептюк; заявл. 21.04.78; опубл. 20.02.81, Бюл. № 7. ■

Получено 16.11.12

© Ю. Е. Пивинский, П. В. Дякин, Д. В. Горбачёв, С. А. Стрельцов, 2013 г.

Йон Чен¹, Джинкун Ю¹, Минглиан Ган², Шивен Сун², Чанпин Чен²

¹ Школа материалов и металлургии, 312# Северо-Восточный университет, г. Шеньян (Shenyang), Кунтай

² Компания «Puyang Refractories Group Co.», Ltd. Puyang, г. Хенан (Henan), Кунтай

УДК 666.762.34:621.746.329.047

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ МАГНЕЗИАЛЬНОФОРСТЕРИТОВОГО СУХОГО ВИБРАЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША*

Изучено влияние добавки форстеритовой руды и слегка обожженного форстерита в качестве заполнителя на физические свойства и шлакоустойчивость магнезиальнофорстеритового огнеупора сухого виброформования на смоляном связующем. Явной разницы между физическими свойствами и шлакоустойчивостью огнеупоров с добавкой и без добавки не обнаружено. При применении на металлургическом заводе было выяснено, что шлакоустойчивость огнеупора с добавкой немного меньше ввиду его спекания, что главным образом объясняется образованием монтчеллита, шпинели и стеклофазы при растворении в шлаке и химической реакции между шлаком и матрицей огнеупора в промежуточном ковше.

Ключевые слова: слегка обожженный форстерит, форстеритовая руда, заполнитель, сухой виброформованный материал, промежуточный ковш, рабочая футеровка, показатели свойств.

ВВЕДЕНИЕ

Оксид магния имеет хорошие тепловые свойства и высокую стойкость к эрозионному воздействию. Его давно используют в производстве

магнезиальных огнеупоров для рабочей футеровки промежуточных ковшей и других видов огнеупорной продукции [1, 2]. Китай богат запасами магнезита, но его невозможно использовать повторно, и, кроме того, его цена возрастает. Поэтому поиски сырья, альтернативного магнезиту, — очень важное направление исследований. Перспективна работа с форстеритом. Запасы форстерита в Китае очень большие. В некоторых случаях

* **Chen, Yong** Study and application on magnesia-forsterite dry vibration material for tundish / Yong Chen, Jinkun Yu, Mingliang Gan, Shifeng Song, Changping Ghei // UNITECR 2011. — 31-E-2.

Таблица 1. Химический состав сырьевых материалов, мас. %

Материал	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	R ₂ O	Потери
Заполнитель из спеченного оксида магния	2,80	0,72	2,74	0,03	2,04	90,96	0,02	0,46
Слегка обожженный форстерит	40,80	3,18	8,22	0,12	1,36	42,09	1,44	1,47
Форстеритовая руда	35,64	2,20	7,21	0,15	1,29	42,86	0,85	8,50
Порошок из плавленного оксида магния	1,44	0,22	0,73	0,01	0,98	96,46	0,01	0,02
Микрокремнезем	94,35	0	0,20	0,02	1,00	0,67	1,33	1,28

Таблица 2. Состав образцов М0–М5*, мас. %

Материал	М0	М1	М2	М3	М4	М5
Заполнитель из спеченного оксида магния	77	52	47	42	37	32
Слегка обожженный форстерит	—	25	30	35	40	45

* Содержание во всех образцах, мас. %: плавленного оксида магния 23, буры 0,2, микрокремнезема 0,5, фенольной смолы 3.

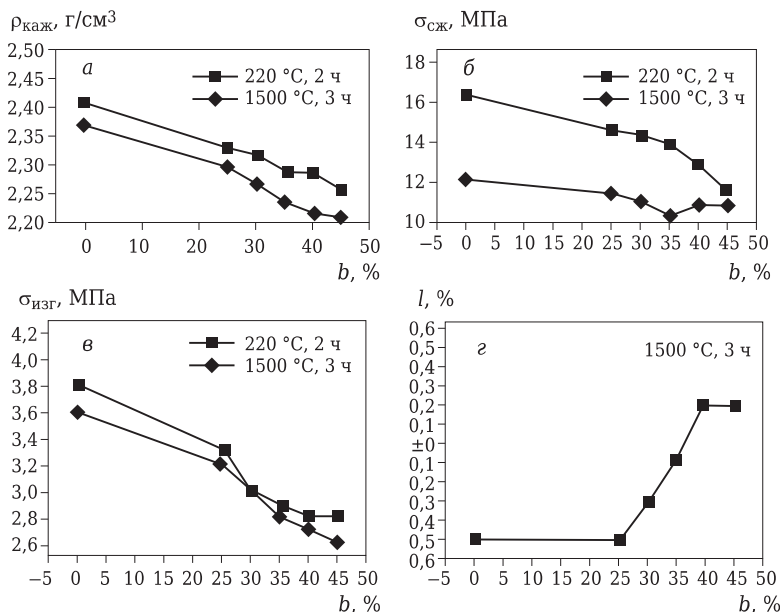


Рис. 1. Влияние содержания *b* слегка обожженного форстерита на свойства образцов М0–М5: *a* — кажущуюся плотность $\rho_{\text{каж}}$; *b* — предел прочности при сжатии $\sigma_{\text{сж}}$; *v* — предел прочности при изгибе $\sigma_{\text{изг}}$; *z* — изменение линейных размеров *l*

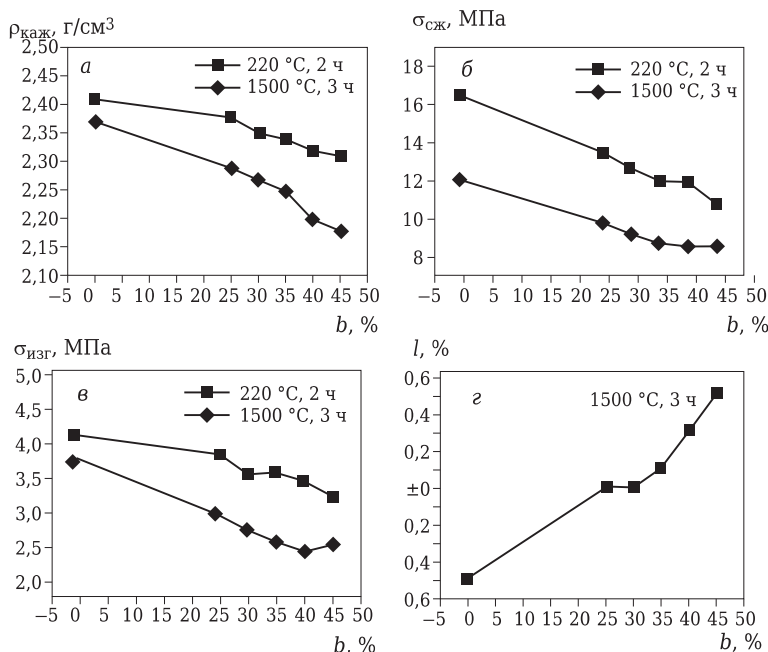


Рис. 2. Влияние содержание *b*, использованной в качестве замены форстеритовой руды на свойства образцов М6 – М10: *a* — $\rho_{\text{каж}}$; *b* — $\sigma_{\text{сж}}$; *v* — $\sigma_{\text{изг}}$; *z* — *l*

форстеритом можно заменить оксид магния, сокращая таким образом производственные затраты и сберегая природные ресурсы [3, 4], т. е. в этом направлении можно проводить многообещающие исследования.

ХОД ЭКСПЕРИМЕНТА

Сырье

В качестве заполнителя применяли форстеритовую руду фракций 6–3 и 3–1 мм, слегка обожженный форстерит (5–3 и 3–1 мм), спеченный оксид магния (5–3, 3–1 и 1–0 мм), а в качестве матрицы использовали плавленный оксид магния (зерно — проход через сетку 180). Бура и микрокремнезем были применены в качестве добавок, фенольная смола — в качестве связующего. Химический состав сырьевых материалов приведен в табл. 1.

Ход процесса

Состав образцов представлен в табл. 2. После смешивания материалов в течение 3 мин образцы были помещены в форму размерами 40×40×160 мм, утрамбованы и подвергнуты воздействию вибрации. Затем сухой «провибрированный» материал вместе с формой был помещен в печь. Форму удалили через 2 ч при достижении температуры 220 °С, что аналогично методу изготовления тигля. Затем после нагрева до 1500 °С в течение 3 ч определили свойства образцов: кажущуюся плотность, пределы прочности при сжатии и изгибе. Химический состав шлака в промежуточном ковше, мас. %: SiO₂ 28,55, Al₂O₃ 24,09, Fe₂O₃ 1,17, TiO₂ 0,69, CaO 27,54, MgO 7,48, R₂O 0,49, потери 6,25. Затем слегка обожженный форстерит заменили на форстеритовую руду и повторили вышеописанные исследования. Образцы в этом случае были обозначены М6–М10.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние слегка обожженного форстерита и форстеритовой руды, ко-

торые использовались в качестве замещающих компонентов, на свойства исследуемого огнеупора показано на рис. 1 и 2.

Видно, что кажущаяся плотность снижается по мере увеличения содержания замещающего форстерита. Это главным образом потому, что показатель кажущейся плотности слегка обожженного форстерита меньше, чем кажущаяся плотность заполнителя из спеченного оксида магния. Пределы прочности при сжатии и изгибе в целом снижаются при использовании заменителя из слегка обожженного форстерита. В образце M0 наблюдается линейная усадка, которая постепенно снижается по мере увеличения количества форстерита. В свойствах образцов, в которых в качестве заменителя была использована форстеритовая руда, наблюдается то же явление.

Влияние форстерита на шлакоустойчивость показано на рис. 3. Видно, что шлакоустойчивость тигля M0 наилучшая, наблюдается лишь небольшая эрозия с внутренней стороны тигля. По мере увеличения количества форстерита (заменителя) толщина тигля после эрозии постепенно возрастает, но это явление не такое уж заметное. По мере увеличения количества форстерита в материале тигля его шлакоустойчивость ухудшается. Этот результат объясняется увеличением количества монтichelлит, который образуется при реакции форстерита со шлаком в промежуточном ковше. Однако это не оказывает значительного влияния при использовании исследуемого материала, если количество в нем слегка обожженного форстерита находится в пределах 25–45 %.

После проведения испытаний на шлакоустойчивость материал тиглей исследовали методом рентгеновской дифракции (рис. 4), а также были получены фотографии микроструктуры тиглей на электронном сканирующем микроскопе (рис. 5). Видно, что шлак промежуточного ковша проникает в материал тиглей. Характерный для MA пик не показан на графике рентгеновской дифракции, потому что содержание MA невелико. CMS образуется при реакции шлака и форстерита в сухом виброформованном материале. Шлакоустойчивость образца M10 хуже,

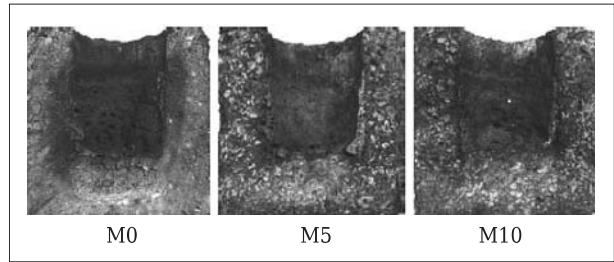


Рис. 3. Шлакоустойчивость образцов

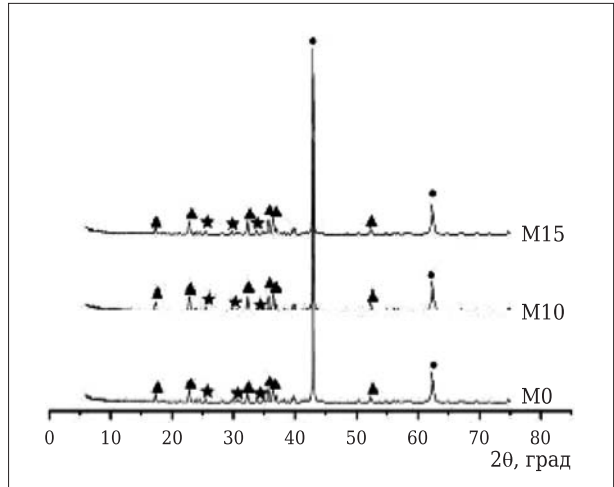


Рис. 4. Графики рентгеновской дифракции (XRD) разных зон проникновения шлака в тигель: ● — периклаз; ▲ — форстерит; ★ — монтichelлит

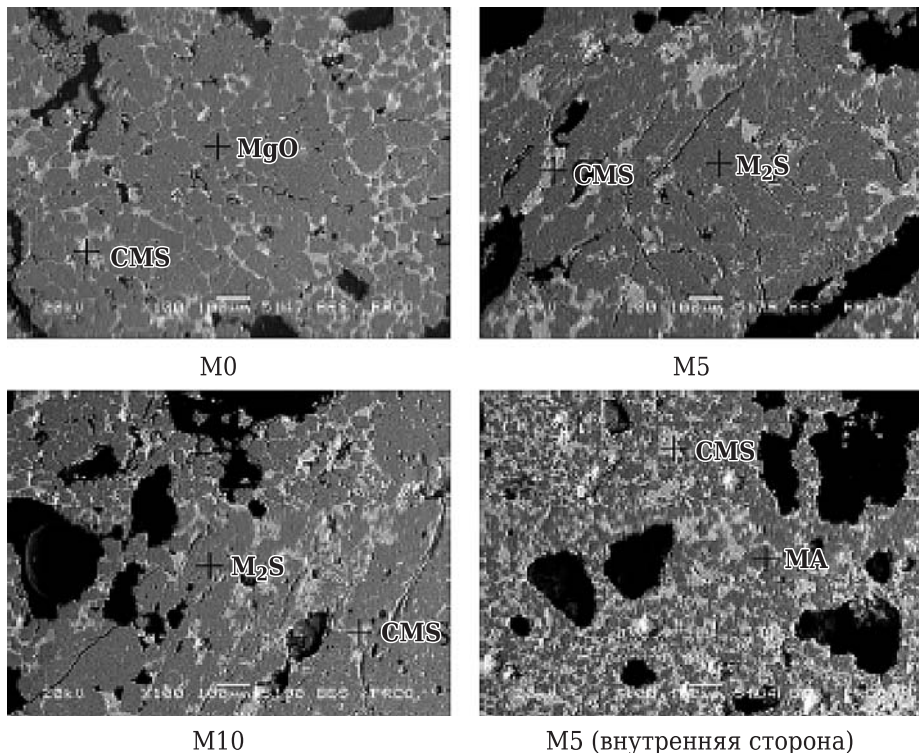


Рис. 5. Микроструктура тиглей после испытания их на шлакоустойчивость

чем у других образцов, потому что образуется более эвтектическая фаза CMS.

ПРИМЕНЕНИЕ

Исследуемый материал испытали на одном из металлургических заводов. Завод имеет 8 промежуточных ковшей вместимостью 35 т. Производятся в основном стали марок Q195 – Q235B, Q215 – Q345B, SS400 и SPHC. Температура разлива составляет примерно 1545 °С, продолжительность разлива около 40 мин. Толщина рабочей футеровки промежуточного ковша 70 мм. Материалы М2 и М7 использовали в пяти промежуточных ковшах. В промежуточный ковш было разлито 18,8 плавки примерно в течение 854 мин. Толщина шлакового пояса из материала М2 после воздействия коррозии 31 мм, скорость коррозии 0,036 мм/мин. Толщина шлакового пояса М7 34 мм, скорость коррозии 0,040 мм/мин. Толщина шлакового пояса М0 – 26 мм, скорость коррозии 0,030 мм/мин. Сухой вибрационный материал легко удаляется из отработавшего срока промежуточного ковша.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Физические свойства и шлакоустойчивость сухого виброформованного материала ухудшаются при использовании в качестве заменителя легкого обожженного форстерита и форстеритовой руды.

Применение исследуемого материала на металлургическом заводе показало, что шлакоустойчивость его снижается вследствие спекания, в результате которого образуется монтичеллит, шпинель и стеклофаза при растворении в шлаке и при химической реакции в промежуточном ковше между шлаком и матрицей сухого виброформованного материала.

Библиографический список

1. **Chen, Zhaoyou.** Comprehensive utilization of natural magnesium-containing resources and development of MgO-based refractories / Zhaoyou Chen, Hongxia Li // Refractories. — 2005. — Vol. 39, № 1. — P. 6–15.
2. **Zhong, Xiangchong.** Strategic thoughts and predictions on magnesite refractories development in China / Xiangchong Zhong // Bull. Chin. Ceram. Soc. — 2006. — Vol. 25, № 3. — P. 91–95.
3. **Guo, Zongqi.** Development of forsterite refractories / Zongqi Guo // Refractories. — 1994. — Vol. 28, № 6. — P. 357–360.
4. Properties of limestone-containing forsterite-based coating for tundish // Refractories. — 2010. — Vol. 44, № 2. — P. 108–110. ■

Получено 27.04.12
© Пер. С. Н. Клявлиной
(ООО «Группа «Магнезит»), 2013 г.

56th INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON REFRACTORIES 2013



September, 25th and 26th 2013 · EUROGRESS, Aachen, Germany

56-й МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОЛЛОКВИУМ ПО ОГНЕУПОРАМ «ОГНЕУПОРЫ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»

25–26 сентября 2013 г.
г. Аахен, Германия

Тематика:

- Стекло
- Цемент, известь, гипс
- Керамика
- Обжиг
- Химические процессы
- Огнеупорное сырье
- Формованные и неформованные огнеупоры
- Управление качеством
- Служба огнеупоров в футеровке
- Износ и коррозия
- Рециклинг
- Охрана окружающей среды

www.feuerfest-kolloquium.de/kolloquium-2013