

Д. т. н. **И. Д. Кашеев**¹ (✉), **М. А. Баяндина**¹, к. т. н. **Т. В. Баяндина**²

¹ ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

² ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», г. Сатка Челябинской обл., Россия

УДК 666.762.14:519.87

МУЛЛИТОКОРУНДОВЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТОГО ШАМОТА МАРКИ RASC

С помощью симплекс-решетчатого метода планирования эксперимента подобран зерновой состав высокоглиноземистого шамота марки RASC для получения муллитокорундового материала. Установлен оптимальный зерновой состав шамота, обеспечивающий улучшение его эксплуатационных свойств.

Ключевые слова: шамот, каолин, зерновой состав, симплекс-решетчатый метод планирования эксперимента.

Развитие современной металлургии и многих других отраслей промышленности сопровождается интенсификацией тепловых процессов. При этом к огнеупорным материалам предъявляются все более высокие требования к стойкости к расплавам, механическим нагрузкам и воздействию различных газовых сред при высоких температурах. Этим требованиям в большинстве случаев удовлетворяют высокоглиноземистые материалы. Основным направлением развития производства высокоглиноземистых материалов в XXI в. должно быть создание износоустойчивых материалов за счет улучшения их эксплуатационных свойств [1, 2]. Это может быть достигнуто путем использования качественного природного сырья и правильным подбором зернового состава шихты.

В 2004 г. компания «Русский Алюминий» подписала соглашение с Гайаной (Южная Америка) о совместной разработке месторождения низкожелезистых бокситов гиббситового типа. Поэтому в качестве исходного сырья для получения муллитокорундового материала можно использовать бокситы Гайанского месторождения. Высокоглиноземистый материал обычно получают по многошамотной технологии. Чаще всего используют дискретный зерновой состав при совместном помоле шамота и глины. В практике применяют следующий состав шихты: 60 % шамота фракции 3–0,5 мм и 40 % смеси совместного помола глины (25 %) и шамота (75 %). Общее содержание глины в шихте составляет примерно 10 % [3]. Для многошамотных изделий, в которых глины мало, большое

значение имеет плотность укладки шамотных зерен. Следовательно, высоких показателей эксплуатационных свойств можно достичь при правильном подборе зернового состава шамота.

В настоящей работе отражены результаты подбора зернового состава высокоглиноземистого шамота марки RASC симплекс-решетчатым методом для улучшения эксплуатационных свойств муллитокорундового материала. В качестве исходных материалов для получения муллитокорундового материала использовали высокоглиноземистый шамот, полученный на основе бокситов Гайанского месторождения (шамот марки RASC), и обогащенный каолин месторождения Журавлиный Лог [4, 5]. Химический состав исходных материалов приведен в табл. 1. Образцы диаметром и высотой 40 мм изготавливали полусухим прессованием. Для увлажнения шихты до влажности 4,0–4,5 % использовали стандартный раствор ЛСТ плотностью 1,21 г/см³ при температуре 40–50 °С. Образцы обжигали при 1600 °С с 4-ч выдержкой при максимальной температуре.

Для расчета поверхности оптимизации использовали программу Statistica 10.0. Для описания зависимости свойств образцов от количественного соотношения фракций шамота использовали полином третьего порядка. Оптимизацию проводили по критериям: $m_{\text{нас}}$ — насыпная масса шамота, $\rho_{\text{каж}}$ — кажущаяся плотность и $P_{\text{отк}}$ — открытая пористость сырца, а также $\sigma_{\text{сж}}$ — предел прочности при сжатии, $P_{\text{отк}}$ и $\rho_{\text{каж}}$ обожженных образцов [6, 7]. Матрицы планирования эксперимента по критериям приведены в табл. 2.

По результатам экспериментальных данных рассчитаны коэффициенты полинома, которые отображают зависимость свойств муллитокорундового материала от количественного соотношения фракций шамота. Уравнения регрессии, а также построенные по результатам выполненных расчетов и математической обра-



И. Д. Кашеев

E-mail: kir77766617@yandex.ru

Таблица 1. Химический состав исходных материалов, мас. %

Материал	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Δm _{прк}
Шамот фракции, мм:									
3–1	85,10	9,60	0,18	0,08	1,26	3,70	0,02	0,06	–
<1	80,20	12,80	0,38	0,22	1,87	4,21	0,05	0,15	–
Каолин	35,99	48,20	1,23	0,36	0,57	0,38	0,43	0,22	12,56

Таблица 2. Матрица планирования эксперимента для оптимизации зернового состава шамота

Коэффициент полинома	Фракция шамота			m _{нас} шамота, г/л	Свойства сырца		Свойства обожженных образцов		
	X ₁ (3–2 мм)	X ₂ (2–1 мм)	X ₃ (1–0,5 мм)		ρ _{каж} , г/см ³	П _{отк} , %	σ _{сж} , МПа	П _{отк} , %	ρ _{каж} , г/см ³
η ₁	1	0	0	1819,8	2,75	12,8	45,0	16,2	2,77
η ₂	0	1	0	1870,2	2,70	12,5	49,4	15,4	2,79
η ₃	0	0	1	1982,0	2,81	11,9	53,1	16,7	2,80
η ₁₂	0,5	0,5	0	1967,0	2,73	13,3	43,9	17,8	2,74
η ₂₃	0	0,5	0,5	2061,5	2,82	11,6	55,6	16,6	2,84
η ₁₃	0,5	0	0,5	2052,0	2,85	10,7	64,3	16,0	2,91
η ₁₂₃	0,33	0,33	0,34	2060,0	2,83	10,9	63,8	16,1	2,89

ботки данных симплексные диаграммы состав – свойство с проекциями линий одинакового уровня для m_{нас} шамота, ρ_{каж} и П_{отк} сырца, а также σ_{сж}, П_{отк} и ρ_{каж} обожженных образцов приведены в табл. 3 и показаны на рис. 1–6.

Расчеты показывают, что для получения муллитокорундового материала с высокими прочностью и плотностью необходима шихта, состоя-

щая из трех фракций шамота: 3–2 мм (10–20 %), 2–1 мм (30–40 %), 1–0,5 мм (40–50 %). Такое соотношение фракций в шихте обеспечивает муллитокорундовому материалу предел прочности при сжатии более 60 МПа, кажущуюся плотность более 2,80 г/см³ и открытую пористость менее 16,2 % (см. рис. 4–6). Таким образом, шихта для получения муллитокорундового материала

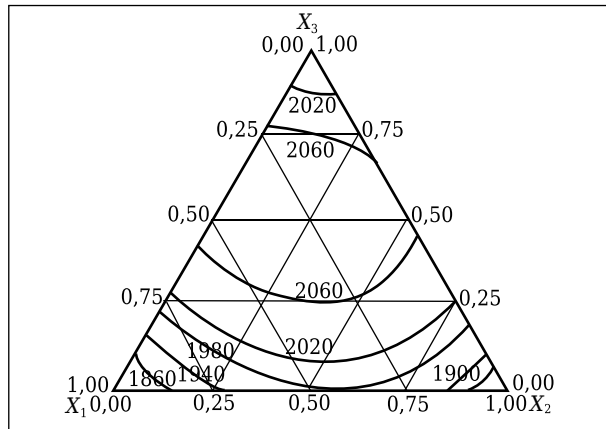


Рис. 1. Диаграмма состав – насыпная масса шамота, г/л

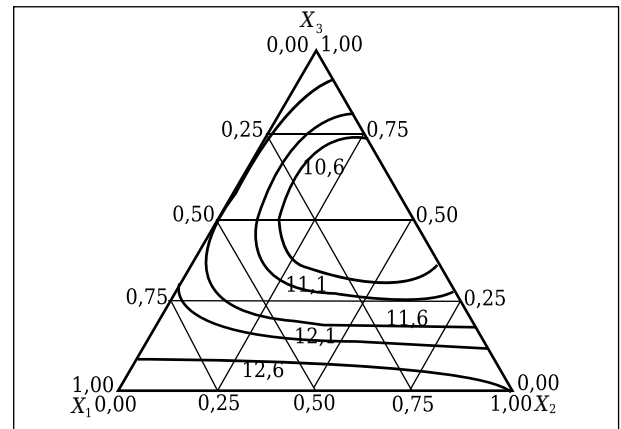


Рис. 3. Диаграмма состав – открытая пористость сырца, %

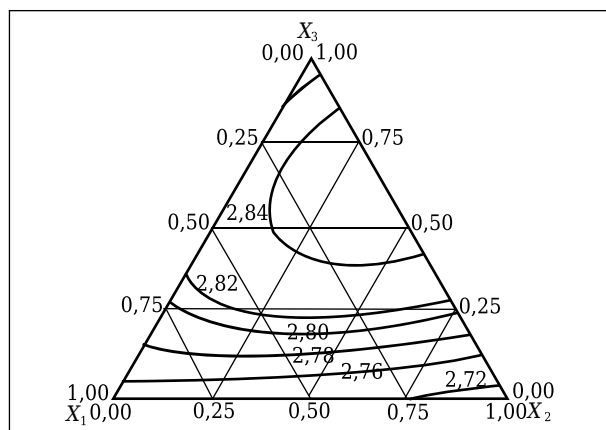


Рис. 2. Диаграмма состав – кажущаяся плотность сырца, г/см³

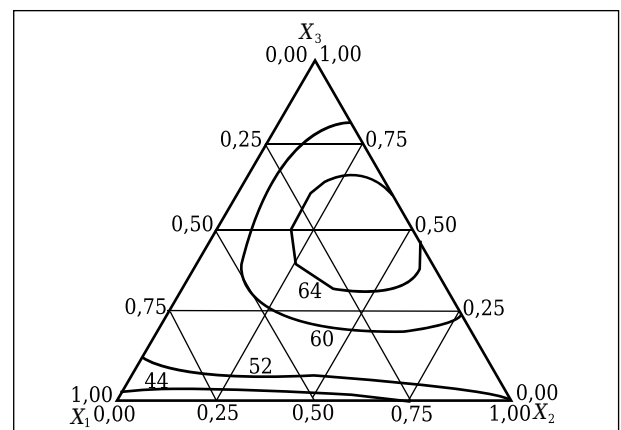


Рис. 4. Диаграмма состав – предел прочности при сжатии обожженных образцов, МПа

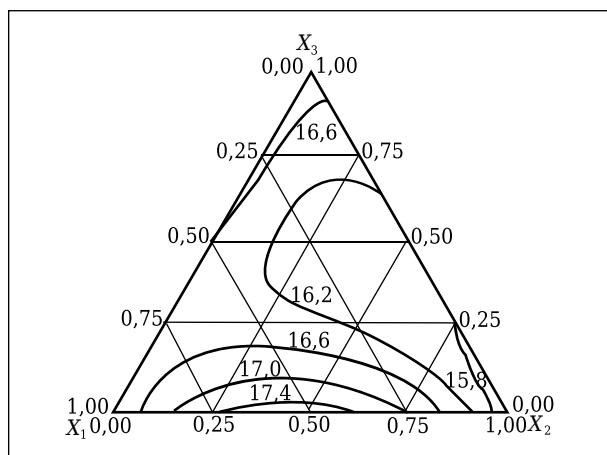


Рис. 5. Диаграмма состав – открытая пористость обожженных образцов, %

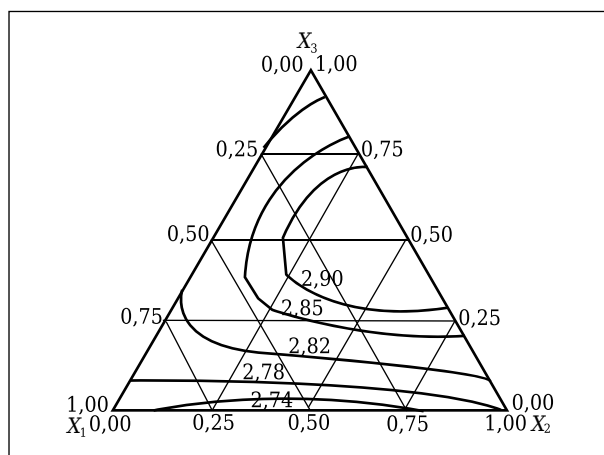


Рис. 6. Диаграмма состав – кажущаяся плотность обожженных образцов, г/см³

Таблица 3. Уравнения регрессии в диаграммах состав – свойство

Диаграмма зависимости	Уравнение регрессии
Состав – насыпная масса шамота	$Y_{m_{\text{нас}}} = 1819,8X_1 + 1870,2X_2 + 1982X_3 + 488X_1X_2 + 642,4X_1X_3 + 503,6X_2X_3 - 359,3259X_1X_2X_3$
Состав – кажущаяся плотность сырца	$Y_{\rho_{\text{каж}}} = 2,75X_1 + 2,7X_2 + 2,81X_3 + 0,02X_1X_2 + 0,16X_1X_3 + 0,38X_2X_3 + 0,3601X_1X_2X_3$
Состав – открытая пористость сырца	$Y_{P_{\text{отк}}} = 12,8X_1 + 12,5X_2 + 11,9X_3 + 2,6X_1X_2 - 3X_1X_3 - 6X_2X_3 - 20,7514X_1X_2X_3$
Состав – предел прочности при сжатии обожженных образцов	$Y_{\sigma_{\text{сж}}} = 45X_1 + 49,4X_2 + 53,1X_3 - 13,2X_1X_2 + 26,2X_1X_3 + 52,2X_2X_3 + 195,4032X_1X_2X_3$
Состав – открытая пористость обожженных образцов	$Y_{P_{\text{отк}}} = 16,2X_1 + 15,4X_2 + 16,7X_3 + 8X_1X_2 + 0,6X_1X_3 - 0,2X_2X_3 - 24,9036X_1X_2X_3$
Состав – кажущаяся плотность обожженных образцов	$Y_{\rho_{\text{каж}}} = 2,77X_1 + 2,79X_2 + 2,8X_3 - 0,16X_1X_2 + 0,22X_1X_3 + 0,46X_2X_3 + 1,1972X_1X_2X_3$

Таблица 4. Физико-механические свойства муллитокорундового материала

Показатель	Значение показателя материала	
	по ГОСТ 24704–81	полученного
Массовая доля Al_2O_3 , мас. %	Не менее 80	83,6
Предел прочности при сжатии, МПа	Не менее 35	83
Открытая пористость, %	Не более 22	16,1
Термостойкость (950 °С – вода), теплосмены	–	26

ла должна состоять из 90 мас. % шамота марки RASC с соотношением смежных фракций 3–2 мм (15±5) %, 2–1 мм (35±5) %, 1–0,5 мм (45±5) % и 10 мас. % обогащенного каолина месторождения Журавлиный Лог. Полученный методом полусухого прессования и обожженный при 1600 °С (выдержка при максимальной температуре 6 ч) муллитокорундовый материал характеризуется показателями, приведенными в табл. 4.

Таким образом, в результате проведенных исследований определен фракционный состав высокоглиноземистого шамота марки RASC для получения муллитокорундового материала, обеспечивающий высокие показатели эксплуатационных свойств.

Библиографический список

1. **Хорошавин, Л. Б.** Магнезиальные огнеупоры : справ. изд. / Л. Б. Хорошавин, В. А. Перепелицын, В. А. Кононов. — М. : Интермет Инжиниринг, 2001. — 576 с.
2. **Кашеев, И. Д.** Огнеупоры для промышленных агрегатов и топок : справ. изд. В 2 кн. Кн. 1. Производство огнеупоров / И. Д. Кашеев [и др.]. — М. : Интермет Инжиниринг, 2000. — 663 с.
3. **Кашеев, И. Д.** Производство огнеупоров / И. Д. Кашеев. — М. : Металлургия, 1993. — 256 с.
4. **Баяндина, М. А.** Сравнительный анализ вещественного состава и свойств каолинов месторождений Южного Урала / М. А. Баяндина, Т. В. Баяндина // Инновации и инвестиции. — 2015. — № 7. — С. 102–105.
5. **Баяндина, М. А.** Исследование каолинов месторождений Южного Урала с целью получения муллитокорундового материала / М. А. Баяндина, Т. В. Баяндина // Инновации и инвестиции. — 2015. — № 9. — С. 174–177.
6. **Ахназарова, С. Л.** Методы оптимизации эксперимента в химической технологии / С. Л. Ахназарова, В. В. Кафаров. — М. : Высшая школа, 1985. — 328 с.
7. **Адлер, Ю. П.** Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. — М. : Наука, 2009. — 279 с. ■

Получено 02.03.16
© И. Д. Кашеев, М. А. Баяндина,
Т. В. Баяндина, 2016 г.