

---

# Сравнительный анализ кислых футеровочных масс для индукционных тигельных печей

**Е.В. Евтух**

Сравнительный анализ кислых футеровочных масс  
для индукционных тигельных печей  
Сибирский федеральный университет  
E-mail: [jekabogatir@mail.ru](mailto:jekabogatir@mail.ru)

Основными критериями выбора футеровочной массы для создания огнеупорного слоя тигля индукционной печи является: физико-химическая и механическая стойкость, повышение качества выплавляемого металла. На основе систематизации литературных и практических данных проведен выбор кислой футеровки тигля индукционной печи для выплавки чугуна.

## Введение

Срок службы индукционных тигельных печей в значительной степени зависит от стойкости слоя футеровки, который граничит с расплавом и шлаком. Если толщина футеровки уменьшается на 30 % и более, то требуется ремонт тигля или полная замена футеровки. Ремонт футеровки печи включает трудоемкие операции: остановка печи, охлаждение, выбивка тигля, замена огнеупорных слоёв. Поэтому существует объективная необходимость поиска технологических решений, которые способствуют повышению срока службы футеровки индукционной тигельной печи, особенно футеровки тигля, подвергающегося наибольшему износу.

**Улучшение** огнеупорных свойств футеровки тигля позволяет обеспечить высокое качество выплавляемого металла, повысить продолжительность работы печи.

## *Выбор материалов для футеровки тигля индукционных печей*

Основные критерии при выборе футеровочной смеси:

- химический состав футеровочной смеси, обеспечивающий инертность к расплаву и шлаку;
- гранулометрический состав, обеспечивающий образование огнеупорного слоя высокой плотности, низкой пористости.

Для футеровки тиглей индукционных печей при плавке чугуна применяется кислая футеровка, состоящая из кремнеземистых огнеупорных материалов. Кислая футеровка, по сравнению с основной, обеспечивает качество выплавляемого металла и шлакоустойчивость.

Примеры кислых футеровочных масс: minro-sil 2001; finmix; cuarsil IS6-AN, **КВМБ** или **КВМБ-2** (ТУ 1523-018-00187085-2002).

Требование по содержанию оксида кремния — в пределах от 93 до 98% [1, с. 332]. Связующим является борная кислота или борный ангидрид.

Содержание SiO<sub>2</sub> в футеровочных массах приведено на рисунке 1.

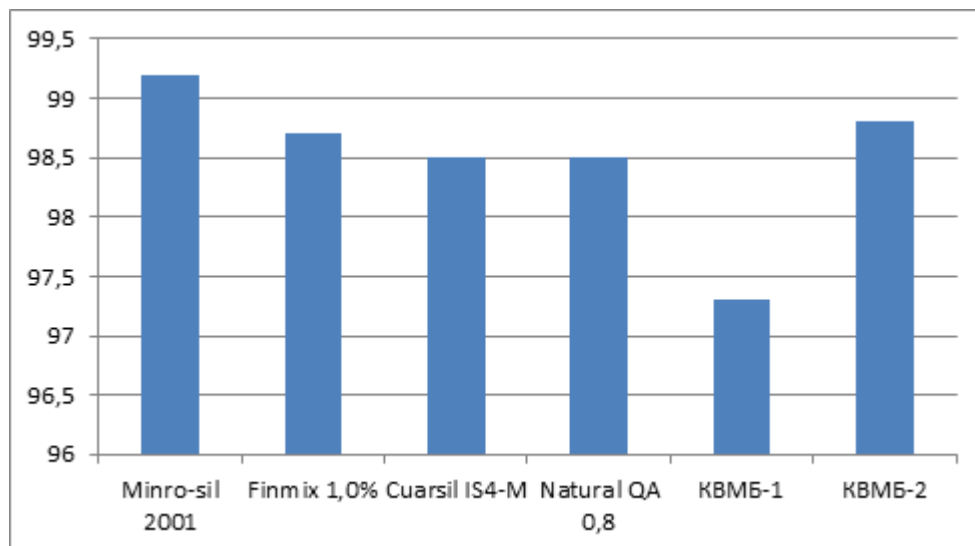


Рисунок 1 — Содержание SiO<sub>2</sub> в футеровочных массах

Требование к содержанию борной кислоты — от 1,0 до 1,5 % [2, с. 114]

Содержание B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в футеровочных массах приведено на рисунке 2.

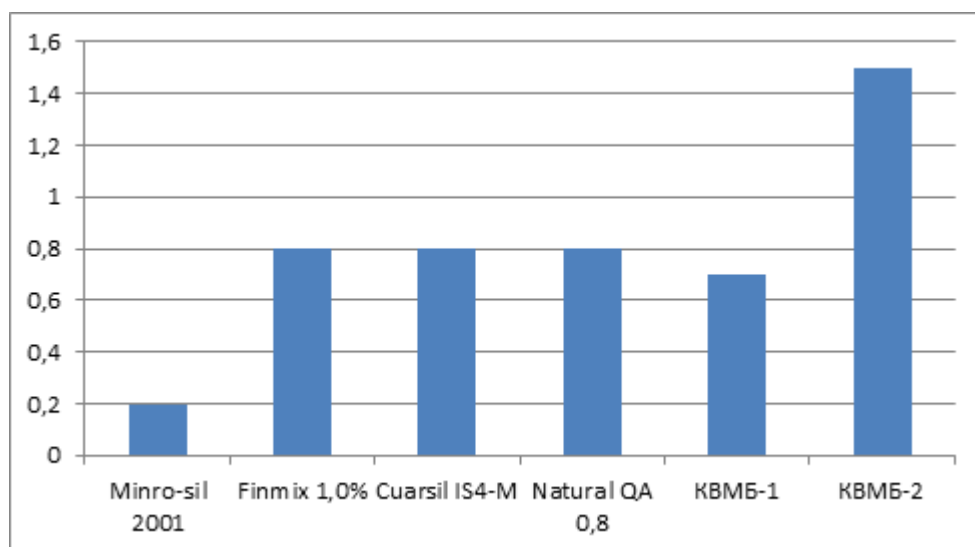


Рисунок 2 — Содержание B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в футеровочных массах

Избыточное количество борной кислоты или борного ангидрида приводит к образованию остеклованной поверхности. Ускоренный износ футеровки происходит при толщине остеклованной зоны более 1/3 толщины футеровки тигля.

При недостаточном количестве борсодержащей добавки происходит повышенный равномерный износ, рабочая зона футеровки при этом при недостаточно спеченная — толщина неспеченной и переходной зон больше, 2/3 толщины всей футеровки.

Из готовых формовочных смесей оптимальным является содержание борсодержащей добавки в смеси KBMB-1.

Повышения физико-химической стойкости кислой кварцевой футеровки можно достичь добавлением небольшого количества мелкодисперсного корунда. В результате применения электрокорунда образуются соединения, силикат алюминия и муллит (3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub>), повышающие огнеупорность и стойкость футеровки. Кроме этого добавки корунда позволяют повысить качество выплавляемого чугуна, покрывая тонким слоем частицы кварца и, предохраняя их от химического взаимодействия с металлическим расплавом и углеродом, тем самым не допуская появления

вредных примесей в структуре чугуна.

Содержание  $Al_2O_3$  в футеровочных массах приведено на рисунке 3.

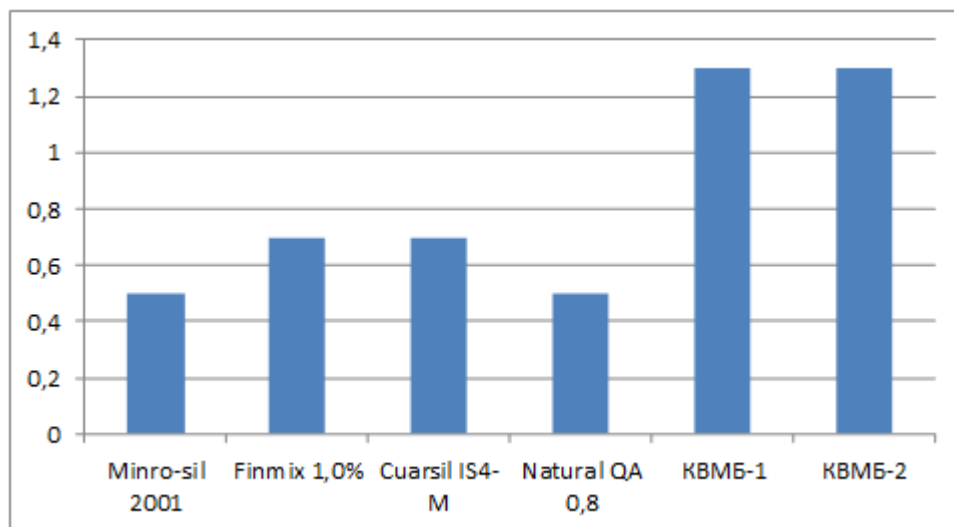


Рисунок 3 — Содержание  $Al_2O_3$  в футеровочных массах

По результатам исследований, приведенных в работе [3, с.14], оптимальным соотношением компонентов является от 3,5 до 4,0 % электрокорунда. В готовых футеровочных смесях содержание корунда ниже. Из рассматриваемых составов выше содержание корунда в смесях KBMB-1 и KBMB-2.

Плотность, которую обеспечивают футеровочные смеси приведена на рисунке 4.

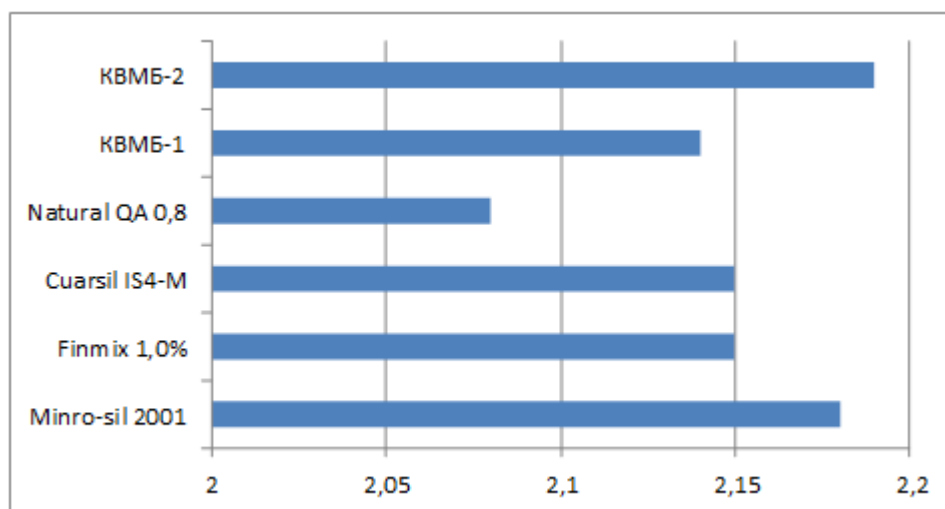


Рисунок 4 — Плотность, обеспечиваемая футеровочными смесями

Из диаграммы видно, что наибольшую плотность можно получить, используя смесь KBMB-2.

В работах [1] и [4] проанализирован состав футеровки, обладающей максимальной стойкостью. В работе [4, с. 283] исследовалась стойкость футеровки состава: 5% зерен фракции 3-2 мм, 50% — зерен 2-0,5 мм, 45% — зерен < 0,5 мм. Стойкость футеровки 35-36 плавов до ремонта.

В работе [1, с. 234] на основе исследований доказывается, что гранулометрический состав огнеупорного наполнителя можно ограничить кварцевым песком с содержанием  $SiO_2$  более 97 %. Содержание крупнозернистой составляющей должно быть около 80%, а тонкой и пылевидной фракций — 20%. Стойкость футеровки 32-36 плавов до ремонта.

Кремнезем, который является основным компонентом смесей, находится в мелкодисперсном

---

состоянии. Пыль, состоящая из частиц диоксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ), при систематическом воздействии на легкие вызывает заболевание — силикоз [5, с. 139]. Исходя из минимального вреда для работников, проводящих работы по замене футеровки, лучше использовать смеси с меньшим содержанием пылевидной фракции.

Если объединить все требования и выводы по анализу диаграмм, то в большей степени из готовых смесей для футеровки подходит смесь КВМБ-1. Повысить стойкость футеровки возможно за счет механизации при изготовлении футеровки.

Огнеупорная футеровка плавильных тиглей должна обеспечивать высокую механическую прочность, что можно достичь заменой ручной набивки футеровки на набивку с помощью специализированного инструмента (боковой и донный вибратор, электропневмомешалка).

Уплотнение футеровки набивного тигля с помощью пневматического вибратора происходит за счет создаваемой вибрации, которая передается от вибратора через пластину на формовочную смесь. Трамбовку огнеупора выполняют бойки пневмоцилиндров, которые удаляют по металлическому шаблону металлургической печи с заданной частотой (54, 65, 250 Гц), создавая вибрацию.

Применение специализированного инструмента позволяет повысить плотность набивки и повысить срок ее службы.

#### Заключение

На основании анализа литературных данных обосновано решение по выбору футеровочной массы, соответствующей актуальным критериям по химическому и гранулометрическому составу, физико-химическим свойствам образуемого огнеупорного слоя.

В наибольшей степени этим критериям соответствует готовая отечественная футеровочная масса КВМБ-1. Смесь содержит оптимальное соотношение компонентов (кремнезема, корунда, борного ангидрида). В результате образуется огнеупорный слой высокой плотности, что позволяет предположить, что стойкость футеровки, полученной с помощью специализированного механического инструмента, будет выше, чем при использовании аналогов данной футеровочной массы.

#### Список использованных источников

1. Зинченко, Ю.А. Оптимизация состава футеровки плавильных печей / Ю.А. Зинченко // Вестник Донского государственного технического университета. — 2009. — Т.9. — № 3 (42). — С. 481–491.
2. Конструирование и расчет индукционных плавильных печей: учебное пособие / С. В. Карелов [и др.]. — Екатеринбург : УрФУ, 2014. — 162 с.
3. Кукарцев, В.А. Разработка высокотемпературной технологии производства синтетического чугуна в индукционных тигельных печах промышленной частоты. Автореферат диссертации / В.А. Кукарцев. — Красноярск, 2016. — 147 с.
4. Теслев, С.А. Исследование увеличения срока эксплуатации футеровки индукционных печей при переплаве ферросилиция // Инновационные технологии и экономика в машиностроении: сборник трудов IV Международной научно-практической конференции с элементами научной школы для молодых ученых / Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. — С. 282–285.
5. Химия элементов для провизоров : учеб.-метод. пособие / Е.В. Барковский [и др.]. — 2-е изд. — Минск : БГМУ, 2017. — 212 с.