

К. т. н. В. В. Словиковский, А. В. Гуляева (✉)

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

УДК 669.168.3.043.1.001.24

ВЫСОКОСТОЙКИЕ КОНСТРУКЦИИ ФУТЕРОВКИ ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ ПЕЧЕЙ ДЛЯ ВЫПЛАВКИ ФЕРРОНИКЕЛЯ И ГРАНШТЕЙНА

Приведены результаты исследования условий эксплуатации футеровки электродуговых печей, характера разрушения футеровки. Разработаны новые составы огнеупорных растворов и масс, а также схемы кладки свода. Проведены широкие промышленные испытания усовершенствованных схем кладки с использованием в футеровке сводов качественных огнеупорных растворов и защитных огнеупорных масс. Внедрение предложенных мероприятий позволило увеличить стойкость футеровки в 1,4–1,6 раза.

Ключевые слова: электродуговая печь, футеровка свода, Режский никелевый завод (РНЗ), схема кладки, износ огнеупоров, эксплуатационная температура.

Рост объема производства и улучшение качества металла, в первую очередь за счет увеличения выпуска легированных и других специальных марок сталей — важнейшая задача отечественной металлургии. Поэтому расширение производства ферросплавов, в том числе ферроникеля, является актуальной задачей. Использование вторичного сырья имеет важное значение как источник дополнительных материальных ресурсов, как фактор снижения себестоимости продукции и удельных капитальных затрат, ускорения темпов роста производства. Вторичная цветная металлургия является энерго-, трудо- и капиталосберегающей отраслью промышленности. Переработка вторичного сырья электродуговой плавкой — наиболее прогрессивный и производительный способ, который позволяет добиться максимального извлечения металла, получения его высокого качества и сравнительно низкой себестоимости.

Цель настоящей работы — проблема надежности работы футеровки электропечей, повышения стойкости футеровки сводов и сокращения расходов дефицитных сводовых огнеупоров на Режском никелевом заводе (РНЗ). Процесс получения ферроникеля и гранштейна (полупродукта) в электродуговых печах ДСП-3 и ДСП-6 РНЗ с использованием в плавке никельсодержащего вторичного сырья и аккумуляторного лома по своим технологическим параметрам наиболее близок к электросталеплавному и ферросплавному производствам. Поэтому тенденцию к совершенствованию электродуговой плавки в целом и изучению вопроса, связанного с повы-

шением стойкости футеровки электродуговых печей, и в частности футеровки сводов, следует рассматривать на примере развития мировой металлургии [1, 2].

В настоящее время в мировой практике совершенствования конструкции и повышения стойкости футеровки сводов электродуговых печей наметились следующие направления: изготовление распорно-подвесных конструкций сводов, освоение водоохлаждаемых конструкций в футеровке, применение комбинированной футеровки из огнеупорных изделий и масс [3, 4]. Ввиду сложности изготовления и высокой стоимости распорно-подвесные конструкции сводов в последние годы не нашли широкого применения как за рубежом, так и в РФ.

Объектом исследования являлись две 6-т и одна 3-т электродуговые печи на РНЗ. Печи оборудованы трансформаторами мощностью 4,0 МВт и предназначены для выплавки ферроникеля и гранштейна (Ni-содержащего полупродукта). Футеровка стен печей выполнена из хромомagneзитовых изделий Запорожского и Пантелеймоновского огнеупорных заводов. В кладке стен использованы две марки огнеупоров — ХМ-1 и ХМ-3. Конструкция футеровки сводов — секторно-арочная (рис. 1), выполнена из периклазохромитовых сводовых огнеупоров четырех марок (ПХС-1, ПХС-10, ПХС-35 и ПХС-42) производства комбината «Магнезит». Кладка футеровки из сводовых огнеупоров выполнена насухо. Средняя стойкость футеровки сводов из периклазохромитовых огнеупоров 35–40 плавков.

Футеровка свода опирается на водоохлаждаемое опорное металлическое кольцо наружным диаметром 4,5 м; печи имеют водоохлаждаемое устройство для бокового отсоса дымовых газов. После установки свода производится разогрев его кладки в течение 6 ч с момента включения, причем подаваемую мощность увеличивают постепенно (интервал 2 ч), периодически отклю-



А. В. Гуляева
E-mail: a.gulyaewa2012@yandex.ru

чая печь на 10–15 мин. Температура футеровки свода печи не регистрируется. Анализ работы печей РНЗ показывает, что хотя технические характеристики печей несопоставимы, их температурные режимы близки и условия эксплуатации футеровки в обоих случаях очень жесткие (температура плавки 1650–1700 °С).

Переработка вторичного сырья и аккумуляторного лома на РНЗ требует постоянного (в течение плавки) отвода свода. Количество отводов свода за сутки, а следовательно, и резких охлаждений (>100 °С/мин) за одну плавку составляет 8–10, т. е. в течение 9–10 ч. Стойкость футеровки ДСП-3 и ДСП-6 лимитирует свод. Одним из факторов, разрушающих свод, является воздушное охлаждение футеровки свода; когда свод отводится, температура снижается до 500–600 °С. Это считается опасным для ПХС-огнеупоров, поскольку огнеупор в этот период переходит из упруго-пластического состояния в хрупкое, а скорость его охлаждения в 7–10 раз превышает допустимую (12 °С/мин) [5].

Как показали визуальные наблюдения, быстрое разрушение огнеупоров (сколами) наблюдается в первую 1/3 кампании печи, и особенно на первых 4–8 плавках, причем в наиболее тяжелых условиях находится футеровка в центре свода, в котором скорость износа огнеупоров в 1,5–2,0 раза выше, чем на периферии, ввиду более высоких эксплуатационных температур. Различие в характере и скорости износа футеровки по ходу кампании может быть объяснено тем, что вновь установленный свод на разогретые до высоких температур стены испытывает на первых плавках значительные тепловые нагрузки, поскольку его футеровка недостаточно прогрета и градиент температур в толще кладки превышает допустимые значения для ПХС-изделий в несколько раз. Это обуславливает возникновение высоких термических напряжений в огнеупорах и, как следствие, появление тонких трещин, расположенных параллельно поверхности нагрева на расстоянии 30–50 мм от нее и являющихся потенциальными горизонтами интенсивных сколов в первую 1/3 кампании печи.

Наиболее вспученные участки футеровки свода наблюдаются в периферийной части свода, в зоне электродных отверстий (особенно 1-го и 2-го электродов), проседание огнеупоров футеровки наблюдается в центральной части свода, особенно вблизи отверстий под электроды. На рис. 2 показана топография разгара футеровки свода после службы в течение 36 плавков. Наиболее интенсивному износу подвержены огнеупоры в зоне электродных отверстий. Авторами настоящей статьи было предложено в кладке использовать ПХС-огнеупоры производства комбината «Магнезит» четырех марок (ПХС-1, ПХС-10, ПХС-35, ПХС-42) с применением огнеупорного кладочного раствора (толщина шва 5–10 мм) с высокими физико-механическими свойствами. Раствор характери-

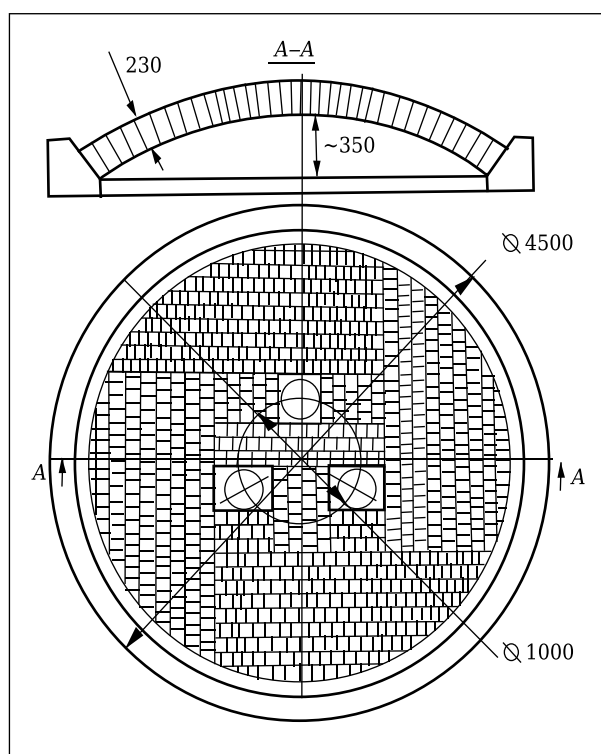


Рис. 1. Секторно-арочная схема кладки футеровки сводов печей ДСП-3, ДСП-6 Режского никелевого завода

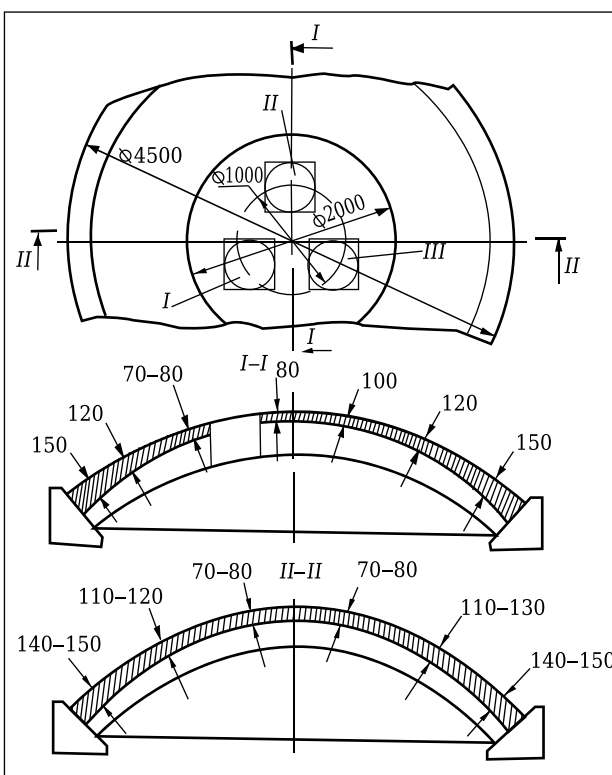


Рис. 2. Топография разгара футеровки свода с секторно-арочной схемой кладки печей ДСП: I — 1-я фаза; II — 2-я фаза; III — 3-я фаза

зуется повышенной термостойкостью и позволяет удерживать скалывающие куски огнеупора.

Исходные материалы для получения кладочного раствора: тонкодисперсные корундовые отходы абразивного производства Косулинского абразивного завода; огнеупорная глина (допускается использование глин различных месторождений с содержанием $Al_2O_3 > 28\%$); магниевый спеченный (заправочный) порошок по ТУ 14-8-209-76 (допускается использование порошка различных марок с размером зерна до 10 мм); глиноземистый цемент (марок 400, 500) по ГОСТ 969. Приготовление огнеупорного раствора производится в бетономешалке или бетоносмесителе принудительного действия. Состав огнеупорного раствора для кладки футеровки свода, мас. %: тонкодисперсные корундовые отходы абразивного производства 75–80, огнеупорная глина 20–25, водный раствор натриевого стекла (сверх 100 %) 18–20. Плотность стекла 1,20–1,25 г/см³.

При приготовлении огнеупорного раствора в бетономешалку (смеситель) загружается необходимое на замес количество огнеупорной глины. Предварительно глину просеивают (протирают) через сетку с размерами ячейки 3–5 мм, в смеситель заливают необходимое на замес количество воды и перемешивают массу в течение 15–20 мин. Далее в смеситель добавляют необходимое на замес количество жидкого стекла (плотностью 1,42–1,45 г/см³) и перемешивают еще в течение 5–10 мин. Затем в смеситель загружают необходимое на замес количество корундовых отходов и перемешивают раствор в течение 5–10 мин. Срок хранения приготовленного раствора 3–4 ч. ПХС-огнеупоры по своим свойствам превосходят аналогичные огнеупорные изделия Запорожского и Пантелеймоновского заводов, ранее применяемые в кладке.

Следующий этап работы — нанесение защитного слоя огнеупорной обмазки в центральной части футеровки свода для защиты рабочей поверхности огнеупоров от разрушения. Целесообразность опробования этого технического предложения объясняется рядом очевидных факторов. Установлено, что наибольшая скорость износа огнеупоров сколами наблюдается примерно в первую 1/3 кампании футеровки сводов ввиду высоких значений температурного градиента по толщине футеровки и резких колебаний температуры. Прогреть футеровку свода на первых плавках до эксплуатационных температур, замедлив или полностью исключив процесс интенсивного разрушения огнеупора сколами, можно при данной конструкции футеровки. Простота реализации предлагаемого решения, незначительные трудозатраты, наличие на заводе необходимых недефицитных материалов также являются немаловажными положительными факторами.

При выполнении предлагаемой футеровки в одной конструкции реализуются положитель-

ные свойства огнеупоров как более прочных и огнеупорных масс как более термостойких материалов. При этом строительную эксплуатационную прочность футеровки центральной части свода обеспечивают огнеупорные изделия, а термические напряжения, возникающие в рабочем слое футеровки при ее высокотемпературном одностороннем нагреве, гасятся защитным слоем огнеупорной массы. Масса удерживается на рабочей поверхности огнеупоров раствором между изделиями в кладке, а также за счет адгезии к рабочей поверхности изделий на границе контакта.

Порядок приготовления масс: в смеситель загружается необходимое на один замес количество зернистого магнезита, добавляется вода или жидкое натриевое стекло, смесь перемешивается в течение 5–10 мин. Далее в смеситель засыпают остальные сухие компоненты. Перемешивают массу в течение 5–10 мин. Срок хранения масс 1,5–2,0 ч.

Огнеупорный раствор используют для кольцевой схемы кладки футеровки периферии свода и его центральной части. Допустимая толщина материальных швов в кладке 5–15 мм. Необходимое условие при кладке футеровки центральной части свода — использование в перекидной и упорной арках футеровки замковых кирпичей (8–10 шт.) с их последующим расклиниванием.

Защитные массы используют в футеровке центральной части свода. После завершения работы по футеровке периферии свода на стенд укладывают асбестовые листы или картон и на него наносят слой приготовленной массы соответствующего состава толщиной 40–60 мм. После этого выполняют кладку огнеупоров центральной части с использованием кладочного раствора. Кирпичи должны подбиваться так, чтобы их торцевая поверхность прочно контактировала с защитным слоем. Поскольку при такой конструкции огнеупоры в центральной части футеровки свода смещены на 40–60 мм относительно огнеупоров периферийной части, необходимо качественное расклинивание изделий для получения конструкционной прочности кладки. Расход защитной массы на футеровку центральной части свода 220–250 кг. Подъем свода со стенда и его монтаж на печи следует производить не ранее чем через 20–24 ч после завершения работы по кладке футеровки свода.

Были выполнены футеровочные работы на четырех сводах по следующей схеме кладки (рис. 3). Перед набором футеровки центральной части на поверхности стены укладывали листы асбеста. Заранее приготовленную в бетономешалке защитную массу засыпали на асбест и разравнивали. Толщина засыпанного слоя массы 60–70 мм. Далее вели кладку центральной части по принятой технологии с использованием огнеупорного раствора. При этом каждый кирпич (кроме замковых), укладываемый по

слою огнеупорной массы, тщательно прижимали (подбивали) вниз, уплотняя массу. Таким образом, обеспечивалось смещение огнеупоров центральной части относительно огнеупоров периферийной части футеровки свода на толщину 40–50 мм. По ходу кладки центральной части свода оставляли 6–8 замковых кирпичей, которые должны выступать над поверхностью свода на 50–70 мм. После окончания наборки их забивали молотком, предварительно подложив на кирпич деревянный брусок.

В качестве защитного слоя использовали огнеупорные массы двух вещественных составов I и II, которые приведены в таблице. Массы перемешивали в бетономешалке, добиваясь получения густой консистенции. Расход массы на защитный слой футеровки одного свода 340–350 кг. Визуальным наблюдением за состоянием защитного огнеупорного слоя всех четырех сводов печей ДСП-6 установлено: огнеупорный защитный слой (2 состава) полностью сохраняется в течение первых 4–5 плавов, разрушений огнеупорной кладки в этот период на опытных сводах не наблюдалось.

Можно констатировать, что эффект, который ожидался от применения защитной обмазки, был достигнут. Условия эксплуатации огнеупоров в футеровке центральной части свода в течение первых 4–5 плавов улучшились. Внедрение проведенных мероприятий позволило увеличить стойкость футеровки сводов с 35–40 плавов до 60–65. Разработаны и испытаны в футеровке сводов составы защитных огнеупорных масс, которые позволяют в течение 4–5 плавов в начале кампании исключить разрушение огнеупоров сколами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе исследованы условия эксплуатации футеровки, изучен характер их разрушения. Разработаны составы огнеупорных растворов и масс, а также новые схемы кладки свода. Проведены широкие промышленные испытания усовершенствованных схем кладки с использованием в футеровке сводов качественных огнеупорных растворов и защитных огнеупорных масс. Внедрение предложенных мероприятий позволило увеличить стойкость футеровки в 1,4–1,6 раза.

Библиографический список

1. **Weider, A.** Огнеупорная футеровка электродуговых печей / A. Weider, H. Hoftgen, O. Krause ; ВЦП-№3409/2 // Fachberichte Hüttenpraxis 776, 778, 780, 782, 783.
2. **Очагова, И. Г.** Огнеупоры для дуговых печей в Японии / И. Г. Очагова // Экспресс-информ. Огнеупорное производство. — 1982. — Вып. 2. — С. 1–4.
3. **Словиковский, В. В.** Эффективные высокостойкие футеровки для вельц-печей / В. В. Словиковский, А. В. Гуляева // Новые огнеупоры. — 2014. — № 8. — С. 3–7.

Вещественный состав защитных огнеупорных масс, мас. %

Компонент шихты	Шихта I	Шихта II
Магнетитовый порошок (заправочный) фракции <10 мм	55–60	60–65
Тонкодисперсные корундовые отходы фракции <0,5 мм	15–20	15–20
Огнеупорная глина	–	15–20
Глиноземистый цемент марки 500	20–25	–
Натриевое жидкое стекло	–	6–8
Вода техническая (сверх 100 %)	20	–

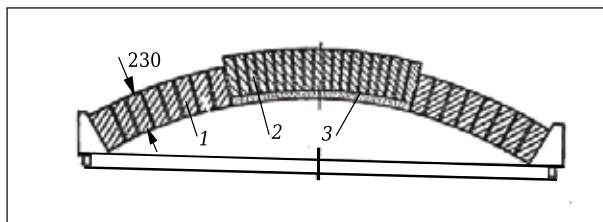


Рис. 3. Схема комбинированной футеровки свода усовершенствованной конструкции (в разрезе): 1 — периферийная часть футеровки; 2 — центральная часть футеровки; 3 — огнеупорная масса

Slovikovskii, V. V. Effective highly resistant waelz kiln linings / V. V. Slovikovskii, A. V. Gulyaeva // Refractories and Industrial Ceramics. — 2014. — Vol. 55, № 4. — P. 277–280.

4. **Словиковский, В. В.** Футеровки горизонтальных медно-никелевых конвертеров повышенной стойкости / В. В. Словиковский, А. В. Гуляева // Новые огнеупоры. — 2013. — № 11. — С. 39–42.

Slovikovskii, V. V. More durable lining for horizontal copper-nickel converters / V. V. Slovikovskii, A. V. Gulyaeva // Refractories and Industrial Ceramics. — 2014. — Vol. 54, № 6. — P. 463–466.

5. **Коршунов, В. С.** Определение предельно допустимых скоростей одностороннего нагрева огнеупорных изделий / В. С. Коршунов, И. П. Басьяс // Огнеупоры. — 1971. — № 4. — С. 51–54.

Korshunov, V. S. Determining the maximum possible rates of single sided heating of refractories / V. S. Korshunov, I. P. Bas'yas // Refractories. — 1971. — Vol. 12, № 3. — P. 259–262. ■

Получено 05.11.15

© В. В. Словиковский, А. В. Гуляева, 2016 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



Global Graphene Forum

Всемирный форум по графену

23–25 августа 2016 г. г. Стокгольм, Швеция

vbripress.com/ggf/