



Е. В. Бурмистрова, Р. И. Абдрахманов, А. Ю. Игонин

ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»,
г. Магнитогорск, Россия

УДК 666.762.453:669.18.046.517-982

ОГНЕУПОРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ВАКУУМАТОРОВ ОАО ММК И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ*

Проанализированы результаты эксплуатации футеровок днищ циркуляционных вакууматоров кислородно-конвертерного цеха ОАО ММК. Выявлены основные причины разрушения огнеупоров, такие как процессы пропитки изделий шлаком и металлом, химическое разъедание при взаимодействии со шлаком, термическое скалывание рабочей поверхности огнеупора из-за изменения температуры футеровки в процессе эксплуатации. Для повышения эксплуатационных характеристик огнеупоров необходимо решить проблемы термической и коррозионной стойкости используемых материалов. Основные мероприятия были направлены на повышение цикличности работы вакууматоров, а также на подбор оптимального состава шлака, способствующего образованию поверхностного гарнисажа при эксплуатации футеровки.

Ключевые слова: футеровка, стойкость, циркуляционный вакууматор, эксплуатация, интенсивность, огнеупоры, гарнисаж.

С 1996 г. в кислородно-конвертерном цехе (ККЦ) ОАО ММК находится в эксплуатации комбинированная установка вакуумирования стали (КУВС). Технологическая особенность агрегата заключается в возможности его эксплуатации в режиме как порционного, так и циркуляционного способа вакуумирования за счет замены формы нижней части металлоконструкции. С 2003 г. вакуумная установка эксплуатируется только в РН-режиме. Тенденция общего спада производства стали, наметившаяся в 2007 г. и явно проявившаяся в 2008–2009

гг., привела к росту потребности в металле с высокой степенью чистоты (ультранизкоуглеродистые стали), непременным условием производства которого является его обработка в вакууматоре. Максимальный объем производства ОАО ММК обработанных в КУВС сталей был достигнут в 2010 г. и составил более 900 тыс. т при общем объеме выпуска конвертерным цехом 9,530 млн т нерафинированной стали. На рис. 1 представлены данные производства конвертерной и вакуумированной стали за период с 2003 по 2011 г.

В 2010 г. в ККЦ был запущен двухпозиционный циркуляционный вакууматор с плановой годовой производительностью не менее 1,5 млн т металла. Двухпозиционный вакууматор входит в состав агрегатов комплекса МНЛЗ-6, построенных в ККЦ, и предназначен для повышения качества трубного металла, а также для производства сталей глубокой вытяжки.

Конструктивно оба вакууматора аналогичны и состоят из 3 футеруемых изнутри металлоконструкций, соединяемых между собой системой газоплотных высоконадежных фланцевых соединений. Кроме того, схема выполнения футеровки позволяет обеспечить достаточно высокую степень герметичности агрегатов. Комбинированная вакуумная установка (вакууматор № 1), как и двухпозиционный вакууматор (вакууматор № 2), располагаются на вертикаль-

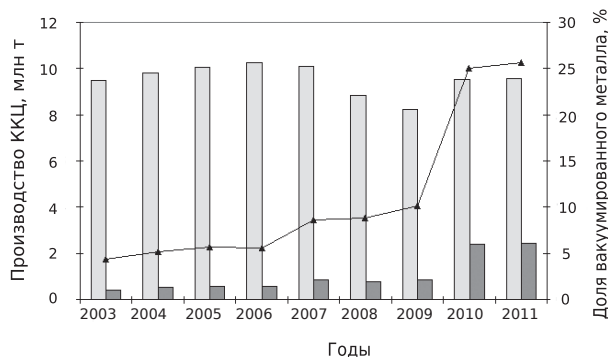


Рис. 1. Динамика соотношения вакуумированного металла к общецеховому производству: □ — конвертерная сталь; ■ — вакуумированная

* По материалам Международной конференции огнеупорщиков и металлургов (14–15 марта 2013 г., Москва).

но подвижной платформе, которая опускается в рабочее положение с погружением патрубков в наполненный металлом сталеразливочный ковш, установленный на обычном стелевозе. Вертикальное перемещение платформы обоих вакууматоров обеспечивается системой, оборудованной траверсой, противовесом и снабженной гидроприводом. Наличие разъемной металлоконструкции позволяет производить ремонт вакууматоров с частичной заменой элементов (днища, корпуса, газохода). Разогрев футеровки и поддержание рабочей температуры на вакууматорах, а также вдувание кислорода при вакуумной обработке осуществляются с помощью многофункциональных газокислородных горелок, стационарно закрепленных в верхней части горячего газохода по оси агрегата. Общая высота вакууматора № 1 9950 мм, вакууматора № 2 13300 мм. Каждый вакууматор оборудован четырехступенчатым парожеткаторным насосом (ПЭН). Производительность насоса (по сухому пару) на вакууматоре № 2 достигает 1200 кг/ч, благодаря чему средняя скорость циркуляции составляет не менее 200 т/мин. Производительность насоса (по сухому пару) вакууматора № 1 не превышает 800 кг/ч.

Одна из положительных технических особенностей вакууматора № 2 — наличие стенов для проведения предварительной сушки и разогрева футеровки элементов перед установкой их на агрегат, что позволяет значительно эффективней использовать рабочее время. Коэффициент использования календарного времени на вакууматоре № 1 в 2010 г. составил 0,847, на вакууматоре № 2 — 0,954.

Традиционным огнеупорным материалом, используемым для выполнения рабочей футеровки циркуляционных вакууматоров, служат периклазохромитовые огнеупоры. Поставка периклазохромитовых огнеупоров, используемых на вакууматорах ОАО ММК, осуществляется комплектно. В перечень комплектации включены формованные и неформованные периклазохромитовые материалы, а также бетонные смеси для выполнения наружной футеровки патрубков. Основные поставщики комплектов футеровок для вакууматоров — ООО «Группа «Магнезит» с производственной базой в г. Сатка Челябинской области, а также иностранные фирмы «Mayerton», «Dalmond», «Dufenco», основные производственные мощности которых располагаются на территории КНР.

Для всех зарубежных поставщиков периклазохромитовых огнеупоров характерно применение метода зонной кладки огнеупорами различного качественного состава. Степень ответственности той или иной зоны футеров-

ки определена в ходе эксплуатации агрегатов. Наиболее сильно изнашивается футеровка патрубков днища вакууматоров, наиболее активно контактирующая с высокотемпературным шлако-металлическим потоком, а также периодически подвергающаяся резким перепадам температур.

Основные причины, вызывающие износ огнеупорной футеровки — термические и механические факторы, а также коррозионное воздействие. Толщина слоя структурного растрескивания, связанного с колебаниями температуры, приводит к глубокому проникновению шлака в огнеупор.

Глубина проникновения шлака K , мм, в структуру изделия может быть описана формулой

$$K = \sqrt{\sigma \cdot r \cdot \cos \theta / 2\eta}, \quad (1)$$

где σ — поверхностное натяжение жидкого шлака, Н/м; r — радиус капиллярных каналов в огнеупоре, м; θ — угол смачивания огнеупора шлаком; η — вязкость жидкого шлака, Па·с.

Ослаблению или предотвращению проникновения в структуру изделия расплава шлака способствуют:

— добавка в структуру изделия извести (CaO), которая активно взаимодействует с кремнеземом (SiO_2) шлака с образованием высокотемпературного соединения $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. Однако образование в структуре огнеупора двухкальциевого силиката приводит к увеличению глубины коррозии и термического разрушения в период межплавочных простоев;

— уменьшение размера пор в огнеупорных материалах. Практический опыт доказывает, что по сравнению с уменьшением количества пор (снижением открытой пористости) уменьшение размера пор и числа проникаемых пор более эффективно ограничивает проникновение шлака и повышает коррозионную стойкость.

Степень термической нагрузки на огнеупорную футеровку определяется в основном интенсивностью и продолжительностью обработки плавок. Отрицательное воздействие проявляется в возникновении термических напряжений в локализованных зонах с последующим образованием термических трещин в структуре как изделий, так и кладки в целом. Однако повышение интенсивности и длительности обработки металла неизбежно влечет за собой не только эрозионные процессы износа. Уменьшение интервалов между обработками плавок приводит к росту термических нагрузок и снижению несущей способности металлоконструкций. Температурный

коэффициент линейного расширения (ТКЛР) для металлоконструкции значительно превышает этот показатель огнеупорной кладки. В результате возрастает вероятность образования пустот в швах кладки, в которые проникают жидкие сталь и шлак, способствующие возникновению внутренних напряжений и образованию трещин.

Коррозионный фактор проявляется вследствие химического воздействия компонентов шлака на огнеупоры, их окисления или восстановления. Основной процесс коррозионного воздействия заключается в растворении шлаком структуры соединения $MgO-Cr_2O_3$.

Несмотря на одинаковый принцип обработки металла, для каждого из эксплуатирующихся в ККЦ РН-вакууматоров, отмечены характерные особенности износа футеровки (рис. 2).

Футеровка КУВС (вакууматор № 1), как правило, подвергается термической и коррозионной нагрузкам вследствие неритмичной интенсивности эксплуатации, а также в соответствии с сортаментом обрабатываемых марок стали. При обработке электротехнического металла с низкоосновными шлаками (основность менее 1) износ футеровки периклазохромитового состава значительно ускоряется. Обработка на вакууматоре № 1 нераскисленных обезуглероженных марок стали типа IF с высоким содержанием оксида железа (FeO) в шлаке, действующего как флюсующая добавка, приводит к разрушению кристаллической решетки шпинельных соединений огнеупора с образованием легкоплавких соединений и их последующему вымыванию. Для стабилизации структуры огнеупорного изделия и снижения отрицательного воздействия компонентов шлака на футеровку перед проведением вакуумирования на поверхность шлака в сталеразливочный ковш помещают глиноземистый гранулированный нейтрализатор шлака. К концу процесса вакуумирования нейтрализатор полностью растворяется в шлаке, делая его вязкотекучим. В результате при вытягивании патрубков из сталеразливочного ковша на поверхности внутренней и наружной футеровок образуется слой шлакового гарнисажа. Решение проблемы производственной загрузки вакууматора № 1, приближенной к номинальной (10–12 плавов), позволило сократить количество случаев прекращения кампаний вследствие термического разрушения футеровки. Перечисленный комплекс мер позволил повысить стойкость футеровки днища в среднем со 145 плавов в 2003 г. до 168 плавов в 2010 г. (рис. 3).

Непосредственно после ввода в эксплуатацию двухпозиционного вакууматора комплекса МНЛЗ-6 были выявлены конструктивные недостатки, кото-



Рис. 2. Распределение факторов, влияющих на стойкость футеровки вакууматоров № 1 (а) и № 2 (б)

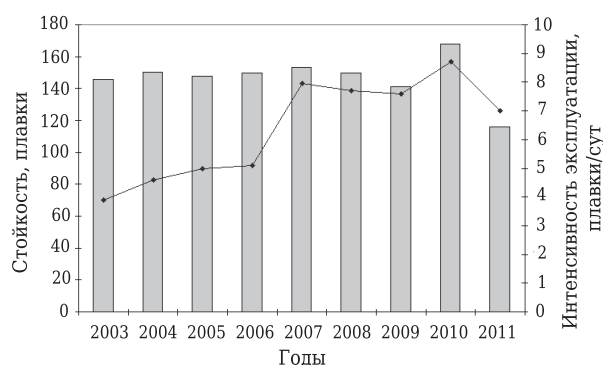


Рис. 3. Динамика влияния интенсивности эксплуатации на стойкость футеровки вакууматоров ККЦ ОАО ММК

рые повлекли за собой возникновение механических нагрузок и оказали негативное влияние на стойкость футеровки патрубков. Из-за небольшого расстояния между нижней кромкой патрубков и бортом сталеразливочных ковшей происходило их соударение, что приводило не только к повреждению наружной

бетонной футеровки, но и к образованию трещин излома на внутренней футеровке из штучных огнеупоров. Кроме того, производительность парожеторного насоса двухпозиционного вакууматора, а также увеличенный диаметр (по сравнению с комбинированным вакууматором) рабочих каналов патрубков за счет уменьшенной толщины кладки футеровки не позволяли повысить стойкость до показателя комбинированного вакууматора. Сравнительный анализ скорости износа внутренней футеровки двух вакууматоров позволил выявить повышенный износ и определить максимальные значения стойкости двухпозиционного вакууматора. В настоящее время расчетная стойкость футеровки вакууматоров определяется суммарным временем обработки металла и

составляет не менее 1800 мин за кампанию днища, что соответствует для комбинированного вакууматора стойкости не менее 180 плавов, для двухпозиционного вакууматора — не менее 100 плавов.

Библиографический список

1. **Стрелов, К. К.** Технология огнеупоров / К. К. Стрелов, И. Д. Кащеев, П. С. Мамыкин. — М.: Металлургия, 1988.
2. Новости черной металлургии за рубежом / ОАО «Черметинформация». — 2011. — № 1. ■

Получено 21.03.13

© Е. В. Бурмистрова, Р. И. Абдрахманов,
А. Ю. Игонин, 2013 г.

К. т. н. **В. В. Словиковский, А. В. Гуляева**

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

УДК 66.041.49.043.1.67

ФУТЕРОВКА СВОДА МАРТЕНОВСКОЙ ПЕЧИ ПОВЫШЕННОЙ СТОЙКОСТИ

Изучены причины малой стойкости распорно-подвесных сводов мартеновских печей и разработаны огнеупорные изделия с пониженной теплопроводностью и специальным зацепом. При кладке огнеупоров применяли безусадочный высокотемпературный кладочный раствор. На огнеупорном производстве ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат» налажен промышленный выпуск разработанных огнеупоров. Промышленные испытания проведены в арочных сводах мартеновских печей ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат» (НТМК) и ЗАО «Нижнесергинский метизно-металлургический завод» (НММЗ). По результатам испытаний увеличение стойкости свода составило 20–30 %, полученный экономический эффект для двух мартеновских печей 4,656 млн руб. в год.

Ключевые слова: скалывание огнеупорных изделий, распорно-подвесной свод, специальное огнеупорное изделие с пониженной теплопроводностью, кладочный раствор, арочный свод.

Стойкость футеровок мартеновских печей определяется стойкостью футеровки свода, как наиболее быстроизнашиваемой области кладки. Например, на Нижнесергинском метизно-металлургическом заводе (г. Н. Серги) срок службы футеровок двух мартеновских печей составляет от 150 до 160 сут, что приводит к простоям печей в течение 30 сут для проведения дорогостоящих холодных ремонтов кладки.

В РФ наибольшее распространение получила распорно-подвесная конструкция свода мартеновских печей, сочетающая подвески, препятствующие его проседанию, и ограничители, не допускающие вспучивания. Особенности конструкции являются армирование штырями всех огнеупорных изделий каждого кольца свода и армирование их металлическими пластинами (рис. 1).

За рубежом качеству подвесных пластин уделяется специальное внимание. Содержание хрома в них 20–25 %, никеля 4–8 %. В РФ нет широкого опыта применения жаростойких пластин. При повышении интенсификации работы мартеновских печей, особенно при применении кислорода, наблюдаются случаи интенсивного прогрева и обрыва подвесных пластин, что приводит к преждевременной остановке печей на ремонт при большой остаточной толщине свода.

Преждевременный износ происходит также от скалывания огнеупорных изделий свода. Скалывание — преобладающая форма износа, и вызывается оно термическими ударами при охлаждении и разогреве свода, в процессе завалки шихты, во время горячего ремонта наварок подин, а также во время промежуточных холодных ремонтов подин