

Раздел 4. Производство стали в конвертерах.

Тема 4.1 Конструкции и расчёт основных параметров кислородных конверторов.

Лекция № 63

Тема: Стойкость футеровки конвертора. Характер ее износа. Пути повышения стойкости футеровки конверторов.

План лекции:

1. Стойкость футеровки конвертора.
2. Характер ее износа.
3. Пути повышения стойкости футеровки конверторов.

1. Стойкость футеровки в зависимости от влияния различных факторов при ее эксплуатации. Одним из решающих факторов, определяющих экономическую эффективность кислородно-конверторного процесса (производительность конверторов и себестоимость выплавляемой стали), является стойкость футеровки. Износ футеровки в процессе эксплуатации может быть вызван следующими причинами:

- 1) химическим перерождением огнеупоров под действием компонентов шлака;
- 2) высокой температурой процесса;
- 3) механическим разрушением огнеупорной кладки металлом, шлаком и газообразными продуктами плавки, а также шихтовыми материалами при загрузке их в конвертор.

В условиях конверторной плавки рабочий слой футеровки изнашивается неравномерно по высоте конвертора. Днище и коническая часть подвержены меньшему износу. Обуславливается это тем, что непосредственному контакту со шлаком и воздействию высокой температуры, развиваемой в полости конвертора, огнеупоры подвергаются незначительно, а химическое взаимодействие огнеупоров с металлом протекает довольно слабо.

Наиболее интенсивному износу подвержена цилиндрическая часть рабочей футеровки, особенно в зоне шлакового пояса. В этой части развиваются высокие температуры, происходит бурное перемешивание металла и шлака. Перегретый и окисленный шлак в результате бурного перемешивания интенсивно омывает футеровку. В горловине конвертора огнеупорная кладка эродируется механически и разрушается высокотемпературным газовым потоком, выходящим с большой скоростью со взвешенными в нем частицами металла и шлака. Кроме того, верхняя часть футеровки горловины испытывает значительные механические нагрузки при обрыве шлаковых настывей и наиболее резкие термические удары.

2. Отмеченные различия в условиях службы отдельных участков футеровки обуславливают неравномерный ее износ, который приводит к преждевременной остановке конвертора и повышенному расходу огнеупоров. Характер износа рабочей футеровки определяется конструкцией кожуха конвертора (отношением высоты к диаметру, диаметром горловины, удельным объемом), технологическими параметрами конвертерной плавки, качеством огнеупоров и профилем футеровки. Установлено, что при правильной эксплуатации конверторов износ рабочего слоя в среднем за одну плавку составляет 1-2 мм. О скорости разрушения футеровки судят по количеству MgO в шлаке конвертерной плавки.

На скорость разрушения футеровки состав шлака оказывает значительное влияние, так как от химического и минералогического составов шлака зависят его жидкотекучесть и способность проникать на определенную глубину в поры огнеупоров с образованием в их рабочем слое легкоплавких соединений. На содержание компонентов в шлаке влияет химический состав чугуна, охладителя и флюсов. Кремний чугуна вследствие большого сродства к кислороду полностью окисляется в первые 5-7 мин продувки с образованием двуокси кремния. Двуокись кремния SiO_2 обладает резко выраженными кислотными свойствами и в основных конверторах образует в шлаке силикатные соединения. Растворение извести и образование основного шлака значительно отстают от скорости окисления кремния. Богатые кремнеземом первичные шлаки взаимодействуют с основной футеровкой, насыщая поверхностный слой огнеупорных изделий SiO_2 . Кремнезем взаимодействует с окислами футеровки, образуя легкоплавкие силикатные соединения. Огнеупорность и межчастичное сцепление пораженного силикатами слоя понижаются, и он смывается движущимися потоками шлака и металла. Следует отметить, что максимальное оплавление футеровки происходит во второй половине плавки при повышенной температуре. Содержание кремния в чугуне во многом определяет стойкость футеровки. На рисунке 1 показано содержание MgO в шлаке на плавках, проведенных с различным содержанием кремния в чугуне. Разрушение футеровки при содержании кремния в чугуне 0,58 и 0,72% практически одинаково, в то время как на плавке с содержанием кремния в чугуне 0,87% оно происходило интенсивно, начиная со второй половины продувки плавки.

В кислородно-конверторном процессе марганец, как и кремний, окисляется в первые минуты продувки. Наличие окислов марганца в шлаке в первый период продувки понижает агрессивное воздействие свободной кремнекислоты на футеровку конвертора вследствие образования силикатов марганца. Силикаты марганца являются более прочными соединениями, чем силикаты железа, поэтому образование силикатов марганца способствует освобождению окислов железа из силикатов. Активность окислов железа в шлаке увеличивается, что ускоряет растворение извести и повышает основность шлака. На рисунке 2 показано влияние содержания марганца на стойкость футеровки. При содержании марганца в чугуне $<0,8$ и $>1,3\%$

стойкость футеровки снижается. Уменьшается также и выход годного металла. Снижение стойкости футеровки и уменьшение выхода годного объясняется в первом случае поздним образованием основного шлака, дополнительным выносом металла (в виде капель) из конвертора и повышенным окислением железа. Увеличение содержания марганца в чугуна повышает количество MgO в шлаке, при этом возрастает жидкотекучесть шлака. Рост жидкотекучести шлака способствует более интенсивной и глубокой миграции его окислов в огнеупоры.

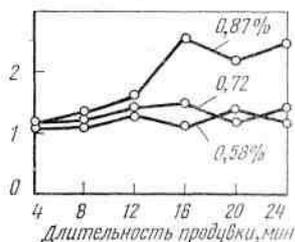


Рисунок 1 - Зависимость стойкости футеровки от содержания кремния в чугуне (цифры на кривых)



Рисунок 2 - Влияние содержания марганца в чугуне на стойкость футеровки (цифры на кривых - число плавов)

Влияние закиси железа в шлаке на стойкость футеровки проявляется двойственно. При увеличении содержания закиси железа ускоряется формирование высокоосновного шлака, который нейтрализует агрессивное воздействие кислых окислов на основную футеровку, и наоборот, при увеличении содержания FeO в шлаке происходит обогащение реакционного слоя футеровки окислами железа. Влияние содержания FeO в конечном шлаке на стойкость смолодоломитовой футеровки показано на рисунке 3. Из рисунка 3 видно, что с увеличением содержания FeO количество MgO в шлаке уменьшается. Однако повышение стойкости футеровки наблюдается до концентрации закиси железа в шлаке 16%. Дальнейшее повышение содержания FeO в шлаке приводит к интенсивному износу футеровки. Это связано с тем, что увеличивается жидкоподвижность шлакового расплава и его окислы более интенсивно проникают в огнеупоры.

В футеровке окислы железа взаимодействуют с CaO, образуя ферриты кальция с низкой температурой плавления. Кроме того, под действием закиси железа происходит обезуглероживание реакционного слоя футеровки. Уменьшение содержания FeO ниже 10% приводит к увеличению количества MgO в шлаке. Причиной износа футеровки в этом случае является медленное растворение извести из-за малых концентраций FeO в шлаке и более длительное воздействие кислых окислов шлака на основную футеровку.

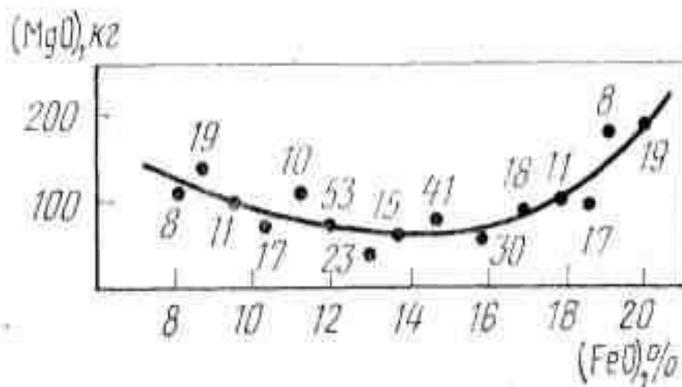


Рисунок 3 - Влияние содержания закиси железа в шлаке на износ футеровки (цифры на кривых - число плавов).

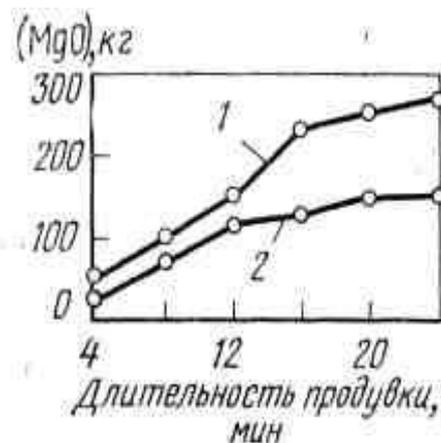


Рисунок 4 - Влияние качества извести на износ футеровки.

Кислородно-конверторный процесс характерен тем, что длительность растворения извести и образования активного известково-железистого шлака относительно невелика ввиду непродолжительности самой продувки плавки. Поэтому для получения в первые минуты продувки шлака с основностью >1 , известь должна обладать высокой реакционной способностью. На рисунке 4 показано изменение количества MgO в шлаке по ходу продувки плавов, проведенных на параллельно работающих конверторах с известью различного качества. Из рисунка 4 видно, что разрушение футеровки происходит с различной интенсивностью. Значительное разрушение огнеупорных изделий наблюдается при использовании извести, полученной в шахтных печах (рис. 4 кривая 1) и обладающей меньшей реакционной способностью. Основной причиной такого износа футеровки является медленное увеличение основности шлака в процессе продувки. Различие в скоростях растворения извести в шлаковом расплаве объясняется тем, что известь, полученная во вращающихся печах (рис. 4, кривая 2), обладает достаточно высокой реакционной способностью, которая обеспечивается высокоразвитой поверхностью пор, небольшой плотностью и мелкокристаллической структурой.

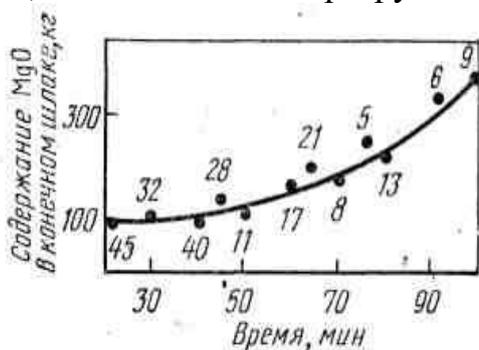
Для ускорения процесса шлакообразования в качестве разжижающей добавки применяется плавленый шпат. Применение его для конверторной плавки обусловлено тем, что в ванну конвертора вносится небольшое количество компонентов, которые отрицательно действуют на футеровку. Опыт работы и исследованиями установлено, что расход плавленого шпата при работе на передельных чугунах должен составлять 2-3% от массы металлической шихты. При больших его количествах резко повышается жидкоподвижность шлака, которая способствует проникновению шлакового расплава в огнеупоры.

В качестве шлакообразующего материала, а также охладителя плавки в некоторых конверторных цехах используется известняк фракции 10-25 мм.

Применение известняка приводит к снижению срока службы футеровки за счет увеличения массы шлака и медленного увеличения основности. Кроме того, при использовании известняка увеличивается расход чугуна вследствие уменьшения количества металлолома, необходимого для охлаждения металлической ванны до заданной температуры.

В общем цикле плавки, исключая продувку, продолжительность других операций составляет 50-55%. Футеровка конвертора в это время охлаждается в результате потерь тепла в окружающее пространство, а также на нагрев воздуха, который попадает в полость конвертора. Чем больше время простоев, тем значительнее охлаждается футеровка. При длительных межплавочных простоях на рабочей поверхности футеровки образуются трещины, кроме того, из полости конвертора начинает интенсивно выделяться газ, который сгорает на выходе из горловины. Влияние длительности простоя конверторов на стойкость футеровки показано на рисунке 5, из которого следует, что с увеличением этого времени количество MgO в шлаке на плавке, проведенной после простоя конвертора, выше, чем на предыдущих плавках. Особенно значительное увеличение MgO в шлаке наблюдается на плавках, которые продували после простоя конвертора более чем 60 мин. Увеличение износа футеровки связано с растрескиванием кирпича вследствие большого перепада температур футеровки. Происходит также обезуглероживание рабочего слоя футеровки под действием кислорода воздуха.

Додувки плавков вызваны в основном необходимостью корректировки содержания углерода или температуры металла. Это связано с отклонениями от регламентированных технологических инструкций дутьевого и температурного режимов плавки. Установлено, что с увеличением числа додувок стойкость футеровки уменьшается (рисунок 6). Снижение срока службы футеровки при увеличении числа плавков с додувками за кампанию конвертора связано с повышением температуры шлака и окислов железа в шлаке. Анализ плавков показывает, что содержание закиси железа и MgO в шлаке увеличивается после додувки. При этом, чем больше продолжительность додувки, тем интенсивнее разрушается футеровка.



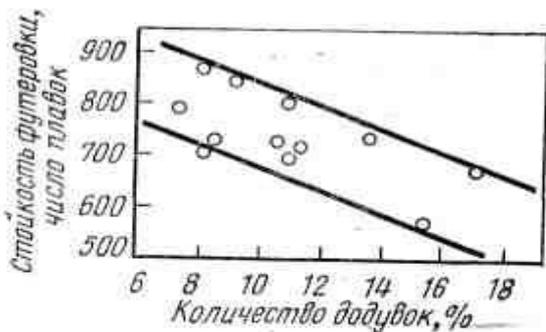


Рисунок 5 – Зависимость стойкости футеровки от длительности простоев между плавками (цифры на кривых – число плавки).

Рисунок 6 – Влияние количества плавки с додувками на стойкость футеровки.

На стойкость футеровки значительное влияние оказывает содержание углерода в конце продувки плавки. Связь между конечным содержанием углерода и числом плавки в кампании характеризует рисунок 7. При низком содержании углерода количество железа в шлаке получается более высоким и шлак активно разъедает футеровку.

Срок службы футеровки сокращался, если во время продувки плавки наблюдались выбросы шлака и металла. Данными исследований установлено, что увеличение на 1% числа плавки с конечным содержанием углерода $\leq 0,07\%$ сокращает продолжительность кампании в среднем на 18 плавки, а уменьшение числа плавки с выбросами шлака и металла на 25% увеличивает продолжительность кампании примерно на 12 плавки.

Увеличение основности конечного шлака положительно сказывается на стойкости футеровки рабочего слоя конвертора (рисунок 8). Из рисунка 8 видно, что минимальный износ футеровки наблюдается при основности шлака от 3,5 до 4,5. Увеличение основности $>4,5$ снижает срок службы футеровки, поскольку возрастает количество шлака и повышается его вязкость. При основности шлака 3,5-4,5 на контактной поверхности футеровки образуется слой гарнисажа, который равномерно покрывает всю контактную поверхность футеровки. Химический состав его практически не отличается от состава конечного шлака. Оценивая роль гарнисажа в стойкости футеровки, можно предположить, что он защищает огнеупорную кладку от воздействия кислого шлака в начальный период плавки, а также в какой-то мере уменьшает ее механический износ от воздействия шлака, металла и отходящих продуктов сгорания [3]

Рисунок 8 – Влияние основности конечного шлака на стойкость футеровки (цифры на кривых – число плавки)

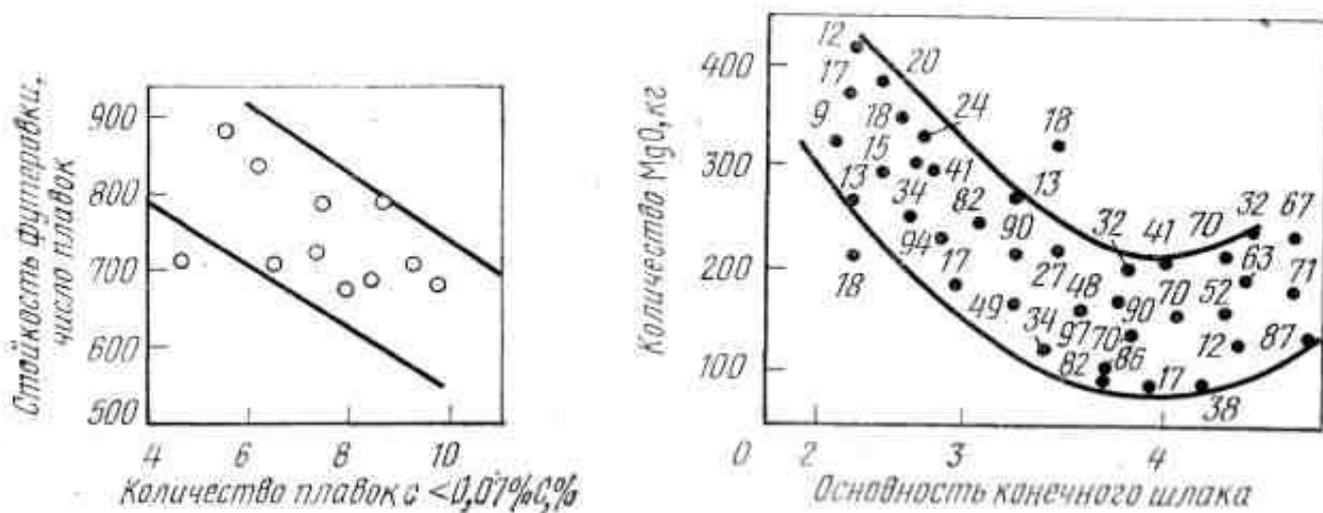


Рисунок 7 – Зависимость стойкости футеровки от конечного содержания углерода после додувки плавки

3. Существуют различные методы увеличения продолжительности службы футеровки.

Для подварки в конвертере оставляют часть шлака, в который забрасывают бой огнеупоров старой футеровки. Смесь затвердевает в течение 10-20 мин. Таким образом можно подварить ванну конвертера, лежащего в горизонтальном положении, или днище при вертикально стоящем конвертере.

Применяют набрызгивание высокоосновного конечного шлака, насыщенного оксидом магния, на боковые стены конвертера при его вертикальном положении путем продувки азота через кислородную фурму на оставленный шлак. Брызги намораживаются на футеровку слоем определенной толщины, который изнашивается в течение некоторого времени, защищая футеровку от износа.

Наибольшее распространение получило систематическое торкретирование футеровки: сухое, влажное и огневое (факельное).

При сухом торкретировании торкрет-масса, например, обожженные магнезит или доломит, сжатым воздухом выбрасывается из сопла (трубы) на изношенные места футеровки. Частицы прилипают к ним и на некоторое время продлевают службу футеровки.

При мокром торкретировании огнеупорную смесь увлажняют, что улучшает прилипание материала по сравнению с сухим торкретированием.

При факельном торкретировании торкрет-масса содержит огнеупорный порошок и коксик (алюминиевый порошок), которые взвешены в струе кислорода, направляемой на изношенное место футеровки. Горючая составляющая торкрет-массы сгорает, образующийся факел приобретает температуру 1600-1800°C, а разогреваясь, частицы массы спекаются с

огнеупором футеровки. Торкретирование повторяется каждые 2-20 плавов, длится соответственно 4-20 мин, в течение которых наносится торкрет-слой толщиной 5-100 мм выдерживающий 1-8 плавов. Таким образом, скорость износа торкрет-слоя 5-12 мм/плавку значительно больше, чем футеровки - 1-4 мм/плавку, что делает факельное торкретирование необходимым лишь в особых условиях, например, в связи с необходимостью рассредоточить во времени ремонты конвертеров, или со значительно меньшей стоимостью торкрет-массы по сравнению с огнеупорами футеровки, или из-за срочного выполнения заказа на производство определенного количества стали и невозможности остановки на ремонт одного из работающих конвертеров.

Продолжительность кампании конвертера при торкретировании может быть доведена до 10000 и даже 20000 плавов, что соответствует 1 году работы конвертера и больше. Такая стойкость позволяет работать всеми конвертерами цеха практически постоянно создавая условия для ритмичной работы прокатных цехов и избегая простаивания конвертеров в резерве при обычной продолжительности кампании конвертера.

Разработанный способ факельного торкретирования футеровки распространен в ряде стран.

Сущность факельного торкретирования состоит в подаче с помощью торкрет-фурмы (рисунок 9) огнеупорного порошка в смеси с топливом и кислородом на неостывшую после слива предыдущей плавки футеровку. При горении топлива в кислороде развиваются высокие температуры, благодаря чему огнеупорные частицы на пути к футеровке размягчаются и, достигая футеровки, прилипают к ней.

Торкретирование осуществляют при вертикальном положении фурмы (рисунки 10, 11) либо фурмой, вводимой напольными машинами при горизонтальном положении конвертера (рисунок 12). Вертикальное торкретирование является полностью механизированной и автоматизированной операцией и не приводит к загрязнению атмосферы цеха, так как газ выходит в систему газоочистки.

В качестве огнеупорной составляющей торкрет-масс могут применяться известь, известь в смеси с различными добавками, доломит, магнезит, в качестве топлива - коксик (20-25% торкрет-массы) или пропан, сжиженный нефтяной газ и т.д. Толщина торкрет-покрытия, наносимого за одну операцию, составляет 5-150 мм. Скорость износа торкрет-покрытий значительно выше, чем скорость износа огнеупоров, и составляет 2-20 мм за плавку.

Торкретирование можно осуществлять, начиная с любой плавки. Продолжительность одной операции 5-20 мин. Удельный расход торкрет-массы составляет 2-4 кг/т.

В последние годы значительное распространение получил способ раздува кислородного шлака в кислородном конвертере, который весь оставляют в конвертере после плавки. Он предусматривает вдувание азота высокого давления через верхнюю кислородную фурму конвертера с разбрызгиванием шлака, который, попадая на футеровку, охлаждается,

твердеет и создает слой, защищающий рабочий слой футеровки. Этот шлаковый слой способствует снижению скорости износа огнеупоров, повышению эксплуатационной готовности агрегата и снижению эксплуатационных затрат. Процесс реализуется при полном выпуске стали, когда в конвертере остается лишь шлак, а также при наличии в конвертере стали и шлака. Режим продувки в обоих случаях различен и различны зоны футеровки, на которых образуется гарнисаж. Сначала в этой технологии в качестве технологического газа использовали аргон, а азот, который может поглощаться сталью, был опробован позднее.

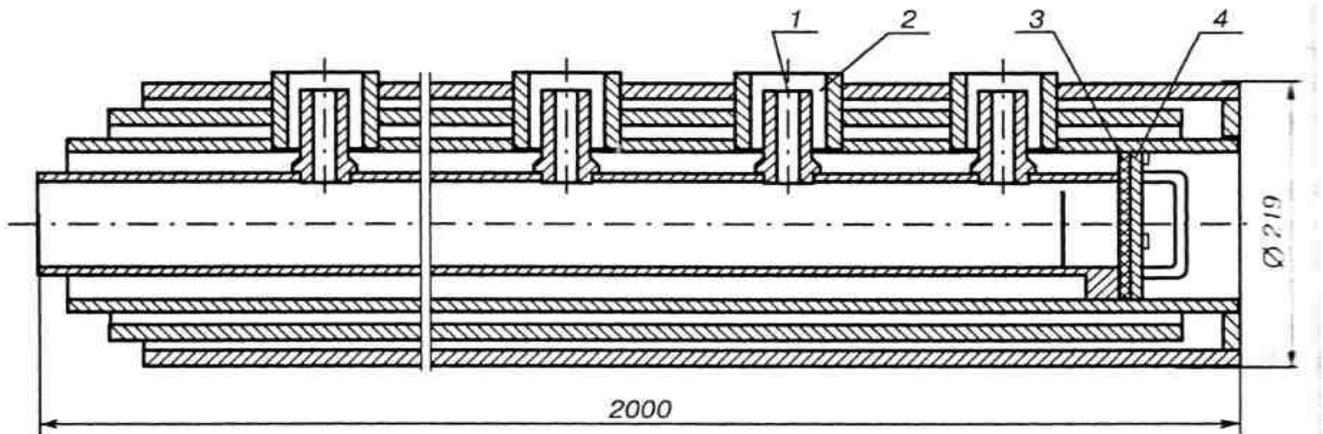


Рисунок 9 – Головка торкрет-фурмы. 1 – сопло торкрет-массы; 2 – кислородное сопло; 3 – прокладка; 4 – съемная заглушка.

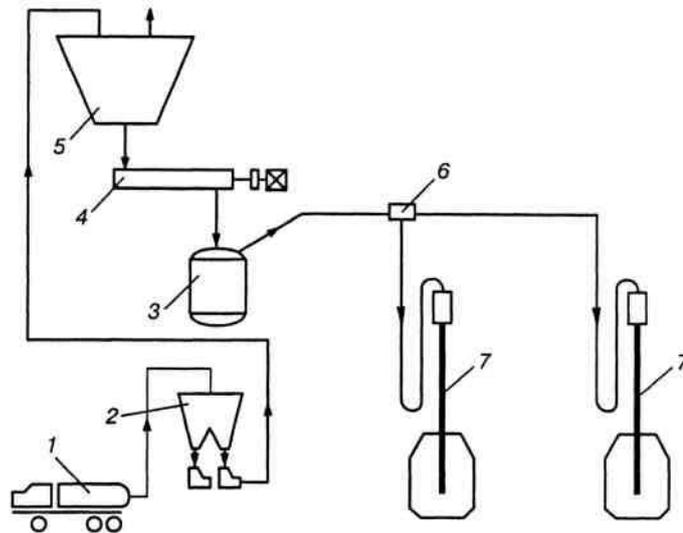


Рисунок 10 – Схема комплекса для вертикального факельного торкретирования конвертеров. 1 – автоцементовоз; 2 – бункер запаса торкрет-массы; пневмокамерный насос; 4 – шнековый дозатор; 5 – бункер торкрет-массы; 6 – двухходовой переключатель; 7 – торкрет-фурма

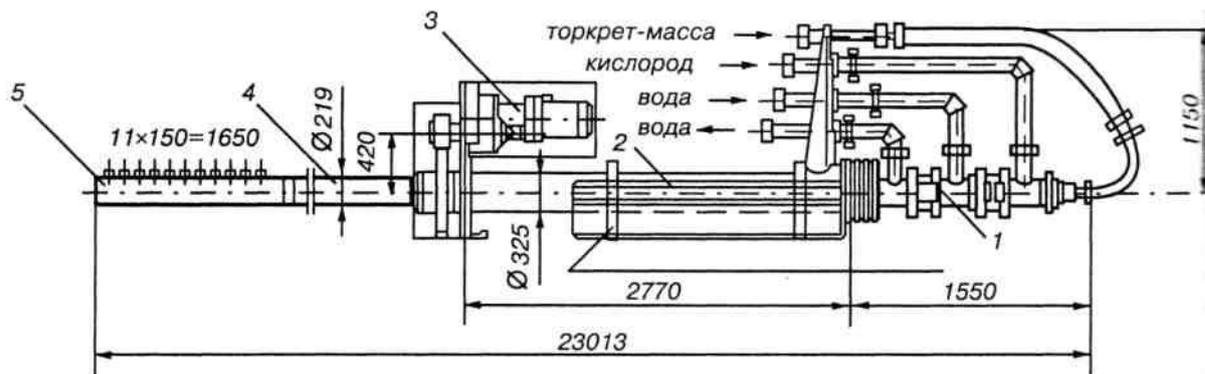


Рисунок 11 – Вертикальная торкрет-фурма. 1 – узел коллекторов; 2 – неподвижная опора; 3 – механизм вращения; 4 – ствол торкрет-фурмы; 5 – головка торкрет-фурмы.

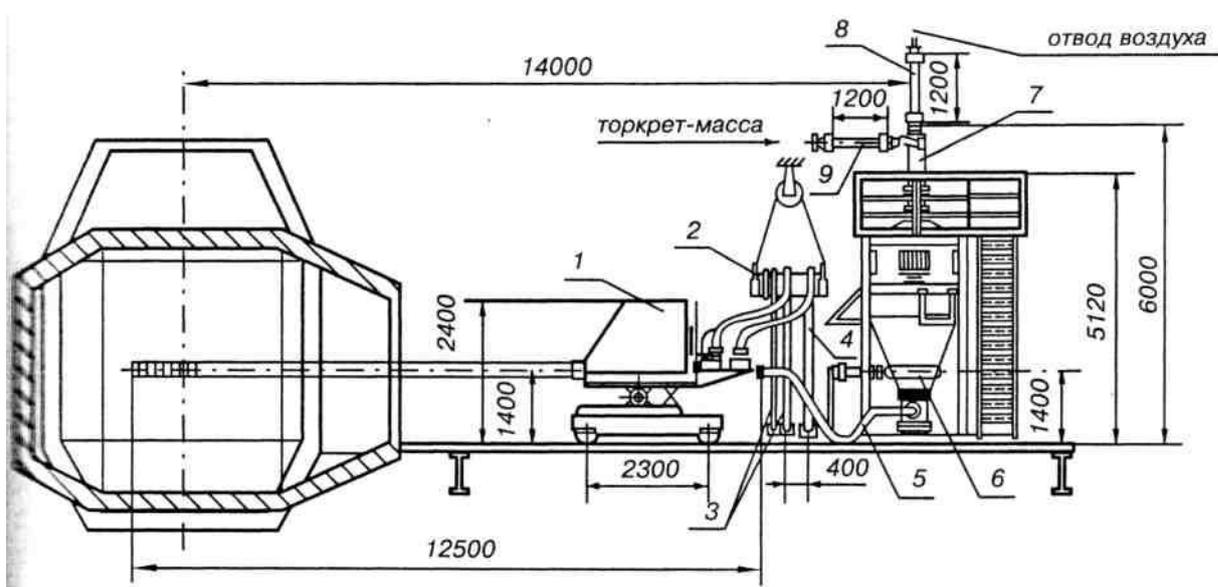


Рисунок 12 – Размещение комплекса оснащения для горизонтального факельного торкретирования. 1 – торкрет-машина; 2 – подвеска шлангов; 3 – гибкие рукава подачи воды; 4 – гибкий рукав подачи кислорода; 5 – гибкий рукав подачи торкрет-массы; 6 – камерный питатель; 7 – циклон; 8 – трубопровод сбрасывания воздуха; 9 – трубопровод подачи торкрет-массы.

На заводе Индиана Харбор фирмы LTV (ЛТВ) впервые применили технологию раздува шлака в рамках общей программы службы огнеупоров. Среди достижений - рекордный срок службы футеровки, равный 15658 плавкам, повышение коэффициента использования конвертера с 78% в 1984 г. до 98% в 2002 г. и снижение затрат на торкретирование на 66% при снижении удельного расхода огнеупоров на 0,38 кг/т. Достигнуто даже увеличение выхода годного благодаря продолжительной эксплуатации старого агрегата с изношенной футеровкой и увеличенной вследствие этого вместимостью.

Технологию освоили в 10 конвертерных цехах США, кроме того, еще четыре цеха планируют внедрить раздув шлака в течение ближайшего времени. Полученные результаты аналогичны опубликованным фирмой

ЛТВ. Объем доступной информации пока довольно ограничен в связи с тем, что футеровки служат более одного-двух лет.

Технология раздува шлака предусматривает следующие этапы:

- выпуск плавки из конвертера;
- визуальный контроль состояния шлака с целью оценки необходимости введения добавок для его кондиционирования;
- визуальный контроль состояния футеровки конвертера с целью выявления зон, требующих особого внимания при проведении раздува;
- качание конвертера для нанесения покрытия на загрузочный и выпускной участки футеровки;
- опускание кислородной фурмы в заданную позицию и начало продувки азотом (расход азота аналогичен расчетному для данной фурмы расходу кислорода);
- изменение положения фурмы при управлении от ЭВМ или вручную с целью формирования шлакового покрытия на всей поверхности футеровки или сохранение постоянного положения фурмы для покрытия определенного участка футеровки;
- продолжение процесса в течение заданного времени;
- прекращение продувки и подъем фурмы;
- выпуск остатка шлака в шлаковозный ковш, после чего конвертер готов к загрузке шихты для следующей плавки.

Для успешной реализации процесса раздува шлака ключевыми факторами являются подача азота, основные характеристики шлака и надлежащее выполнение операции раздува. Важнейшим условием следует считать достаточное снабжение азота. Расход и давление азота определяются проектными характеристиками кислородной фурмы в данном цехе. Эти данные определяют пропускную способность трубопроводов, емкость, давление и количество ресиверов для хранения газа и мощность компрессора, необходимую для восстановления параметров газа в системе к следующему циклу раздува шлака.

Если шлак очень жидкий, он не задерживается и стекает по стенке конвертера. Фактически в большинстве конвертерных цехов, где применяют технологию раздува оптимальное содержание оксида магния составляет 8-14%.

В качестве корректирующих состав шлака добавок используют уголь, известняк, доломит и материалы, содержащие оксид магния. Обычно, если плавку подвергали додувке, то для охлаждения шлака добавляют обычный или доломитизированный известняк, повышают вязкость шлака и снижают содержание в нем оксидов железа. Заводской специалист может также принять решение не проводить раздув шлака после данной плавки, а дождаться более благоприятного момента. После плавки с высокой температурой выпускаемой стали требуется охладить шлак известняком, прежде чем проводить раздув. В некоторых цехах добавляют одновременно известняк и уголь для вспенивания шлака.

При внедрении технологии раздува шлака были рассмотрены

некоторые металлургические аспекты, в том числе повышение содержания фосфора или серы в стали, снижение параметров плавки на выпуске. Ни на одном из заводов, где применяют новую технологию, с этими потенциально существующими проблемами на практике пока не столкнулись.

Благодаря раздуву шлака появляется возможность легирования стали азотом при вдувании газа на конечной стадии конвертерной плавки. В системе трубопроводов для подачи азота в этом случае потребуются дополнительные клапаны и средства управления, чтобы обеспечить смешение кислорода с азотом. Однако в конечном счете это даст значительную экономию азотосодержащих ферросплавов, необходимых для достижения того же результата.

Практически на всех заводах, где внедрили новую технологию, добились вдвое большей продолжительности кампании без увеличения расхода торкрет-материала. Более того, на заводах некоторых фирм, реализующих раздув шлака, удельный расход торкрет-материала значительно снизился (максимально в 3 раза). Снижение удельных затрат на огнеупоры достигает 0,35 у.е./т стали. Еще одним преимуществом является повышение эксплуатационной готовности конвертера, что ведет к повышению производительности. В цехе с двумя 250-тонными конвертерами при 40 плавках в сутки уменьшение числа перефутеровок в год на одну единицу (простой 10 сут.) позволяет повысить производительность на 50 тыс.т/год. Продление работы конвертера с изношенной футеровкой при увеличенной вместимости способствует уменьшению выплесков и увеличению выхода годного.

Внедрение любой технологии не обходится без проблем. На первых установках для раздува шлака столкнулись с образованием настыва на фурме. Эксперименты показали также, что проблема обостряется, если раздув шлака проводится при наличии в конвертере некоторого объема стали.

Для решения проблемы настываобразования эффективными признаны несколько мероприятий. Во-первых, с этой проблемой не сталкивались в цехах с достаточным водоснабжением для охлаждения фурм. Во-вторых, если перед проведением раздува горячую фурму, которую использовали для продувки металла, извлекали из конвертера и заменяли холодной, взятой со стеллажа, тогда проблема настываобразования практически не возникала. Опыт показывает, что шлак не схватывается с холодной поверхностью фурмы. Если во время раздува шлака в конвертере отсутствует сталь, то нет вероятности образования шероховатой поверхности, на которой легко осаждаются шлак. При хранении фурмы для раздува шлака на стеллаже в промежутках между циклами использования образовавшаяся шлаковая настыв осаждается и отделяется с фурмы.

Конвертеры с донным газовым перемешиванием ванны создают дополнительные сложности. При раздуве шлака не следует допускать покрытия им днища конвертера. Расход азота должен быть достаточно большим, чтобы сдувать шлак с поверхности днища. Может оказаться необходимым изменение

давления или расхода газа, продуваемого через донные фурмы или другие элементы системы донного перемешивания.

На конвертерах с достаточно изношенной футеровкой дополнительные требования предъявляются к вспомогательному оборудованию: газоходу, сталевозным тележкам и др. Следовательно, необходимо предусмотреть и реализовать меры по увеличению срока службы вспомогательного оборудования.

Затраты на сооружение системы для раздува шлака зависят от мощности системы подачи азота, которая, как правило, имеется в сталеплавильном цехе, и от того, какое оборудование необходимо для удовлетворения требований, предъявляемых к процессу раздува. Затраты зависят также от требований к интеллектуальному уровню системы управления и от того, планируется ли проводить легирование азотом с использованием оборудования системы раздува шлака. Капитальные затраты колеблются в пределах от более 1 млн. у.е. до 100 тыс. у.е. Трубопроводы, компрессоры, ресиверы высокого давления и управляющие клапаны значительно повышают затраты. Однако эти расходы быстро окупаются. Для цехов с большим объемом производства срок окупаемости составляет всего несколько месяцев. Реальная экономия может достигать 300 тыс. у.е./мес. [2].

2.2 Машины для нанесения торкрета

Технология торкретирования – надежный, быстрый и экономичный способ нанесения огнеупорного материала. Она находит применение при обновлении огнеупорной кладки металлургических агрегатов, при холодном ремонте арматурной футеровки или при горячем ремонте. Различают два способа торкретирования: полусухое и влажное. При сухом торкретировании сухой материал с максимальной влажностью не более 5% выпускается из машины и потоком воздуха подается на распылительную фурму, в которую добавляют воду в количестве 5-10 об. %.

Для проведения влажного торкретирования торкрет-масса смешивается с водой в смесителе и винтовым конвейером или поршневым насосом прокачивается через шланг. В конце линии материал разбрызгивается под давлением. При необходимости добавляется жидкий связующий материал. При влажном торкретировании возникает опасность забивания машины или разбрызгивающего шланга увлажненным огнеупорным материалом во время длительного перерыва в процессе. Влажное торкретирование необходимо проводить с особой осторожностью. При сухом торкретировании в случае остановки в работе подающий (разбрызгивающий) шланг достаточно лишь продуть воздухом.

Для сухого торкретирования применяют торкрет-машины с нагнетателем роторного типа (рисунок 13). Ротор, подобный барабану револьвера, закрепляется между двумя резиновыми дисками и непрерывно вращается. Отсеки ротора, с одной стороны, заполняются материалом, поступающим туда под действием силы тяжести, и выдуваются с другой

стороны. В нескольких метрах от начала подающего материалопровода образуется непрерывный поток смеси торкрет-массы и воздуха.

Машины этого типа мобильны, удобны в обращении и недороги. Однако устройство данной конструкции обуславливает быстрый износ материала в ходе контакта ротора с резиновой прокладкой, поэтому при необходимости достижения более высокой производительности используются торкрет-машины с пневматической камерой-насосом. Они заполняются различными способами (в большинстве случаев из биг-бэгов), объем резервуара пневмонасоса составляет от 1000 до 3000 л.

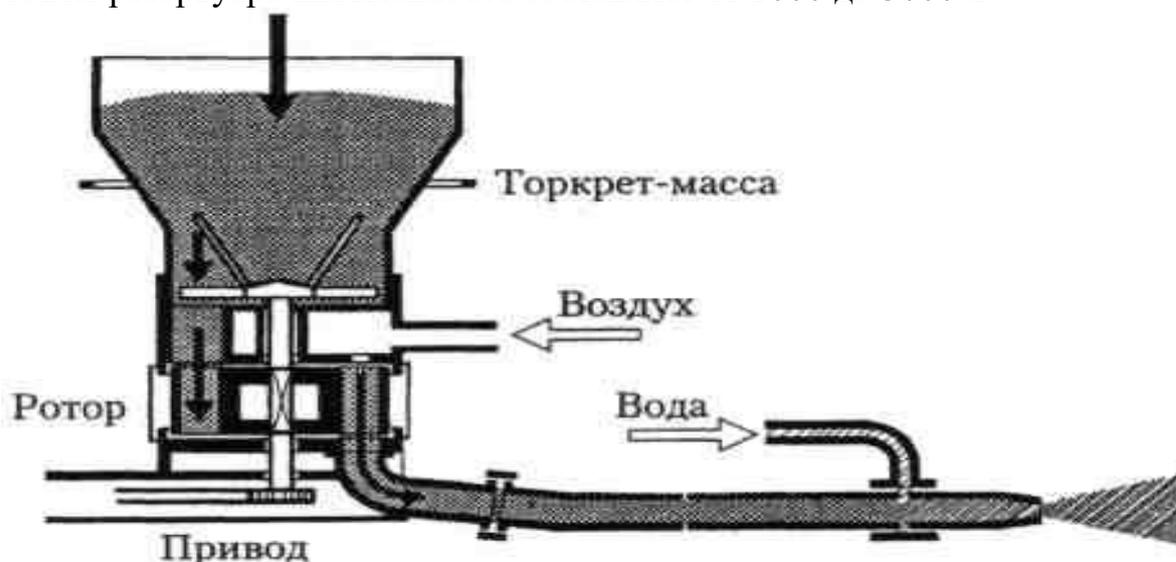


Рисунок 13 – Роторная торкрет-машина для сухого торкретирования (разрез)

Разработаны два типа торкрет-машины с пневмокамерным насосом: с пневматической системой дозирования и с механической системой дозирования. Они могут быть изготовлены как в виде передвижной системы (на колесах), так и в виде стационарной (перемещение краном или автопогрузчиком).

Дозирующее колесо работает в горизонтальной плоскости и за срок службы способно пропустить несколько тысяч тонн торкрет-массы. Эта модификация принципиально отличается от секционного питателя, работающего вертикально и подверженного большому износу. Система дозирования обеспечивает равномерный поток торкрет-массы даже в случае образования сгустков материала, которое может быть вызвано влагой в подаваемом воздухе или вибрацией ремонтной площадки цеха.

Горячий ремонт конвертеров методом торкретирования является более экономичной альтернативой их охлаждения и вывода из производства для проведения холодных ремонтов или полной замены футеровки. Этим значительно продлевается срок эксплуатации данных агрегатов, за счет чего значительно снижаются удельные затраты на футеровку, простои оборудования и, кроме того, экономится энергия, необходимая для их

разогрева. Использование торкрет-манипуляторов создает более гуманные условия для работы персонала. Более того, оно дает возможность провести целенаправленный ремонт поврежденных участков футеровки при более высокой производительности торкретирования (от 100 до 300 кг/мин), что значительно сокращает длительность ремонта и тепловые потери, вызванные охлаждением агрегата.

Для качественного ремонта торкретированием необходимо оптимальное увлажнение торкрет-массы. Первым условием для этого является правильно выбранная торкрет-машина, которая обеспечивает равномерную подачу материала, вторым условием - однородное, равномерное перемешивание материала с водой. При стандартном исполнении смесительного сопла вода в него впрыскивается через поперечные просверленные отверстия.

Для корректировки плохого увлажнения и уменьшения пылеобразования и отскока массы оператор использует в основном избыток воды. Но это часто приводит к тому, что необходимое соотношение вода:цемент нарушается из-за недостаточной стойкости огнеупорного материала. Дополнительное подсоединение подкачивающих насосов для воды привело к улучшениям: струя воды стала мощнее и в большем объеме достигает центра сечения сопла.

Другой метод - предварительное увлажнение. При этом часть затворяемой воды для торкретирования дозируется и подается за несколько метров от торкрет-сопла. Таким образом, возникающие в потоке воды турбулентности способствуют предварительному перемешиванию материала с водой. Но при применении технологии предварительного увлажнения очень высока вероятность ошибки оператора. Если сначала будет подано слишком много воды, то быстросхватывающийся материал может начать твердеть уже в материалопроводе, что может привести к забиванию шлангов [5].

Новые направления в технологии нанесения шлакового гарнисажа на футеровку кислородных конвертеров

В настоящее время практически во всех конвертерных цехах отрасли и за рубежом расширяется применение технологии нанесения на футеровку конвертера шлакового гарнисажа способом раздува азотными струями, формируемыми при подаче азота через верхнюю многосопловую кислородную фурму специально подготовленного конечного шлака с повышенным содержанием оксида магния.

Благодаря приемам ошлакования и локального торкретирования общепринятой для кислородных конвертеров футеровки из периклазоуглеродистых изделий ее стойкость доведена на зарубежных металлургических предприятиях до 10-23 тыс. плавов. Таких результатов в зарубежной металлургии добились в результате комплексного подхода в решении проблемы, когда наряду с ошлакованием и локальным торкретированием футеровки, особенно цапфенных зон, были выведены на

соответствующий уровень операции:

- подготовки металлолома, шлакообразующих, магнизиальных материалов, предварительного рафинирования чугуна перед конвертерной плавкой;

- сокращения цикла плавки и исключения исправлений операции (додувов) путем применения фурмы-зонда для измерения температуры ванны и содержания в ней углерода;

- снижения температуры металлического полупродукта на выпуске из конвертера благодаря использованию в дальнейшем установки ковш-печь;

- контроля толщины футеровки и нанесенного шлакового гарнисажа на разных участках в ходе кампании конвертера при использовании лазерных измерительных систем;

- подготовки к эксплуатации всех вспомогательных систем и оборудования: механического привода, систем охлаждения опорных колец и корпуса конвертера, кислородных фурм, систем отвода, очистки и улавливания конвертерного газа, оборудования для транспортировки стали и шлака.

Тем не менее, даже в случае применения перечисленного комплекса мероприятий все же главными факторами, обеспечивающими рост показателей стойкости футеровки, выступают применение магнизиальных материалов для формирования насыщенного MgO конечного шлака и способ нанесения шлакового гарнисажа на стены конвертера.

Вышеописанный комплексный подход к повышению стойкости футеровки конвертеров внедряется в настоящее время на ведущих металлургических предприятиях России. Однако освоенная в кислородно-конвертерных цехах технология выплавки стали в большегрузных конвертерах под шлаками, содержащими 8-14 % MgO, с нанесением шлакового гарнисажа, дополнительным факельным торкретированием и подваркой футеровки позволила довести стойкость агрегатов за кампанию до 2,5-3,5 тыс. плавов на Западно-Сибирском металлургическом комбинате, до 3,7-4,5 тыс. плавов на Магнитогорском металлургическом комбинате и до 3,8-4,5 тыс. плавов на "Северстали". Последнее свидетельствует о необходимости совершенствования существующих и разработки новых технологических вариантов повышения стойкости футеровки конвертеров, чтобы достигнутые показатели соответствовали достижениям зарубежной металлургической практики.

Сегодня использование магнизиальных шлакообразующих материалов (обоженных доломита и доломитизированной извести) стало обычной практикой для преобладающего большинства зарубежных и отечественных металлургических предприятий, поскольку перенасыщенный MgO шлак может значительно увеличить срок службы футеровки конвертера. За рубежом и в бывшем СССР на протяжении 70-80-х годов прошлого века до освоения технологии раздувки конечного шлака, было разработано достаточно много способов ведения конвертерной плавки с использованием магнизиальных флюсов, направленных на повышение стойкости футеровки

конвертеров без снижения качества выплавляемой стали. В ходе обстоятельных исследований были сделаны следующие основополагающие выводы:

- замедление коррозионного износа футеровки конвертеров обусловлено приближением активности MgO шлака к активности MgO футеровки, а отсутствие износа футеровки может быть достигнуто при условии насыщения основного шлака MgO, повышения вязкости шлака и образования защитного шлакового гарнисажа;

- существенных результатов по повышению стойкости футеровки можно добиться лишь при пересыщении шлака MgO в конце продувки (до 8-12 %). Такие шлаки, как правило, содержат большое количество дисперсной твердой фазы, придающей шлаку способность образовывать гарнисажное покрытие;

- на ход шлакообразования и показатели стойкости футеровки конвертеров значительное влияние оказывают физико-химические свойства магнезиальных флюсов. Предпочтительно использование мелкокусковых мягкообожженных и ожеженных магнезиальных шлакообразующих материалов (доломита и доломитизированной извести).

Наиболее быстрое насыщение шлака оксидом магния в определенные периоды продувки конвертерной ванны обеспечивается в случае вдувания через верхнюю фурму в кислородных струях порошкообразного мягкообожженного доломита или каустического магнезита (полуобожженного магнезита), благодаря чему износ футеровки снижается настолько, что отпадает необходимость в торкретировании.

Внедрение технологии раздувки подготовленного конечного шлака, содержащего до 8-14 % MgO, в конвертере азотными струями через верхнюю фурму не обошлось без проблем как в зарубежной, так и в отечественной практике. В оптимальном технологическом варианте дутьевой и шлаковый режимы конвертерной плавки при использовании магнезиальных шлакообразующих материалов должны обеспечивать:

- ускоренное растворение присадок магнезиальных флюсов с наведением с самого начала продувки жидкоподвижного основного шлака с поддержанием в нем оптимальной концентрации MgO в течение преобладающего времени операции при одновременном обеспечении требуемых физико-химических свойств шлака (вязкости, основности, окислительной, фосфор- и серопогложительной способности);

- спокойный, без выбросов и выносов характер продувки ванны в режиме "заглубленных" кислородных струй при расположении уровня вспененного шлака выше среза наконечника фурмы;

- формирование на окончательной стадии продувки максимально насыщенного MgO гарнисажного шлака с необходимой жидкоподвижностью для обеспечения эффективной раздувки последнего на стены конвертера с формированием высокостойкого гарнисажа.

Практически это организовать в условиях нестабильных параметров шихтовки конвертерной плавки чрезвычайно сложно, при этом в боль-

шинстве конвертерных цехов, где в настоящее время применяют технологию нанесения шлакового гарнисажа, уже внесли изменения в состав конечного шлака по содержанию оксида магния. Его оптимальное содержание в конечном шлаке перед раздувкой, как правило, составляет 8-14%.

В качестве корректирующих добавок обычно используют кусковые мягкообоженный доломит и доломитизированную известь в количестве 15-30 кг/т стали при расходе обычной извести 30-50 кг/т.

В последнее время на металлургических предприятиях России в качестве дополнительных магниезиальных шлакообразующих материалов применяют, %:

- ожеженную доломитизированную известь (72,0-83,6 CaO; 3,0-3,8 SiO₂; 8,9-11,8 MgO; 2,7-2,9 Al₂O₃);

- ожеженный доломит (59,5-59,9 CaO; 4,1-3,8 SiO₂; 31,2-31,8 MgO; 3,4-3,9 Fe₂O₃);

- ожеженный известково-магниезиальный флюс ИМФ (49,0-51 CaO; 1,5-4,0 SiO₂; 31,0-34,0 MgO; 1,0-1,5 % Al₂O₃);

- флюс ожеженный магниезиальный ФОМ (80,0-90,0 MgO; 1,5-3,0 CaO; 1,5-3,5 SiO₂; 6,0-8,0 Fe₂O₃);

- самораспадающиеся магниезиальные гранулы СМГ различного состава (70-85 MgCO₃ и Mg(OH)₂; до 10 С; до 11 Fe₂O₃).

Использование этих новых магниезиальных флюсов вместо традиционных мягкообоженных доломита и доломитизированной извести способствует ускоренному формированию шлака, обогащенного оксидом магния в пределах 8-14 %. При этом обеспечивается требуемая жидкоподвижность шлака для эффективного нанесения шлакового гарнисажа на футеровку конвертера и нормального хода продувки. Вместе с тем можно отметить и некоторые недостатки использования таких материалов:

- содержащийся в ожеженном известково-магниезиальном флюсе (ИМФ-30) оксид кальция под воздействием атмосферной влаги в процессетранспортировки и перегрузки флюса гидратирует с образованием Ca(OH)₂, что приводит к снижению прочностных характеристик флюса, увеличению количества мелочи и, соответственно, выносу и насыщению его водородом. При присадках ИМФ-30 высокое содержание в шлаке MgO достигается только на конечной стадии продувки вследствие недостаточной скорости поступления в шлаковый расплав, что связано с низким содержанием MgO и высоким CaO в ИМФ-30;

- использование ФОМ, разработанного как альтернатива шлакообразующему флюсу ИМФ, ведет к ухудшению шлакообразования на конвертерах малой садки (150-160 т), особенно при выплавке средне- и высокоуглеродистых сталей. Отсутствие в ФОМ оксидов кальция вынуждает использовать ФОМ только совместно с другими магниезиальными флюсами (обоженный или ожеженный доломит, ИМФ-30), что предопределяет необходимость наличия дополнительных свободных бункеров над конвертером;

- более интенсивное снижение температуры ванны на окончательной

стадии операции при использовании модификаторов сталеплавильных шлаков СМГ, а также трудность индивидуального подбора модификатора ввиду изменяемых условий хода конвертерной плавки.

Наряду с положительным эффектом существующие на сегодняшний день технологии ремонта футеровки посредством нанесения шлакового гарнисажа при раздувке подготовленного конечного шлака имеют и целый ряд существенных недостатков. Так, увеличение содержания MgO в шлаке до 8-14 % по ходу операции путем рассредоточенной присадки дополнительных магниезальных шлакообразующих материалов сопровождается ухудшением хода продувки и рафинирующих свойств шлака из-за постоянного увеличения его вязкости. Изменение рафинировочных свойств, особенно если в шлаке содержится более 8% MgO, отрицательно сказывается на десульфурации и дефосфорации расплава, способствует развитию "сворачивания" шлака, из-за чего значительно усиливается вынос мелких капель металла, происходит интенсивное заметалливание кислородной фурмы, горловины конвертера и экранных поверхностей котла-утилизатора. Все это, соответственно, приводит к сокращению выхода жидкой стали.

В случае использования варианта исправления состояния конечного шлака перед раздувкой, добавки сырого доломита, известняка, углеродсодержащих материалов с продувкой ванны азотно-кислородными струями не удастся гарантированно обеспечить необходимые физико-химические свойства шлака из-за значительного охлаждающего эффекта и замедленной скорости растворения присаживаемых материалов.

Следует учесть также то, что в формировании шлакового гарнисажа на футеровке конвертера в процессе раздувки участвует только часть подготовленного конечного шлака, а значительная часть сливается в шлаковую чашу и отправляется на шлаковый двор. В результате наблюдается нерациональное использование присаживаемых магниезальных шлакообразующих материалов, особенно более дорогостоящих (ИМФ, ФОМ, СМГ) в сравнении с обычными традиционными мягкообожженными доломитом и доломитизированной известью.

Выполненный анализ показывает, поскольку технология нанесения шлакового гарнисажа представляет собой компромиссный вариант сохранения жидкого шлака в конвертере с образованием высокостойкого гарнисажа на поверхности футеровки при затвердевании шлака, что важным моментом процесса раздувки жидкоподвижного шлака является охлаждение его брызг ниже точки плавления непосредственно при соприкосновении с футеровкой с одновременным приобретением необходимых огнеупорных свойств гарнисажа.

Для эффективного решения поставленной задачи целесообразно по ходу продувки конвертерной ванны присаживать только строго определенное количество магниезальных материалов для формирования с начала операции жидкоподвижного высокоосновного вспененного шлака с оптимальным содержанием MgO (5-8 %). В результате обеспечивается снижение интенсивности износа огнеупорной футеровки и протекание продувки в

режиме "заглубленных" кислородных струй, когда вспененный шлак с повышенной фосфор- и серопоглотительной способностью перекрывает торец фурмы, что способствует уменьшению выноса металла и заматывания технологического оборудования. После выпуска металла из конвертера целесообразно обеспечивать совмещение операций подготовки конечного шлака и нанесение шлакового гарнисажа путем раздувки шлакового расплава нейтральными либо слабоокислительными струями, несущими во взвешенном состоянии дешевые порошкообразные магнезиальные шлакообразующие и углеродсодержащие материалы с использованием, как правило, существующего в цехах оборудования для выполнения операции торкретирования (рисунок 14).

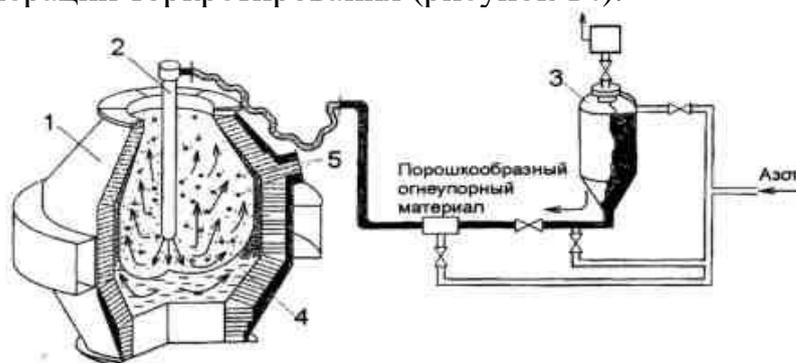


Рисунок 14 - Принципиальная схема процесса нанесения шлакового гарнисажа газопорошковыми струями. 1 – конвертер; 2 – газопорошковая фурма; 3 – оборудование для вертикального торкретирования; 4 – шлак; 5 – огнеупорная составляющая шлакового гарнисажа.

Такая операция обеспечивает формирование шлаковых брызг с необходимыми физико-химическими свойствами непосредственно в зонах воздействия нейтральных либо слабоокислительных газовых струй на первичный шлаковый расплав с направленным движением частиц шлака совместно с огнеупорным порошком и намораживанием гарнисажа на стены конвертера. При этом возможно формирование шлакового гарнисажа с более высоким содержанием дисперсной MgO , чем при существующих технологиях, при значительно меньшем расходе дорогостоящих магнезиальных шлакообразующих материалов.

В условиях работы кислородно-конвертерных цехов имеются предпосылки для отработки и внедрения предлагаемой технологии ведения конвертерной плавки с нанесением шлакового гарнисажа путем раздувки шлака газопорошковыми струями, так как в преобладающем количестве цехов используется оборудование для факельного торкретирования футеровки. Естественно, при отработке технологии необходимо решить вопросы оснащения конвертеров:

- специальными фурмами, приспособленными как для кислородной продувки конвертерной ванны, так и последующей раздувки конечного шлака газопорошковыми струями. Возможен вариант установки в каретке кислородной фурмы и специальной раздувочной фурмы;
- модернизированными системами подачи порошкообразных

материалов, подвода к верхней фурме отдельных потоков кислорода и азота с регулируемой возможностью их смешивания и использования в качестве несущего порошкообразного магниезащитного материала газа для раздувки шлака.

Предстоит большой объем исследований для установления:

- оптимального дутьевого режима газопорошковой раздувки шлака при различных количествах состава порошкообразных магниезащитных шлакообразующих материалов, их смесей с углеродсодержащим материалом, а также нейтральных и слабоокислительных газовых струй;

- химического и минералогического составов, огнеупорных свойств и стойкости нанесенного шлакового гарнисажа с повышенным содержанием оксида магния (более 14%) [6].

Вопрос для самоконтроля:

1 Что такое гарнисаж?

2 Когда и в какой период производят гарнисаж?

3 Что такое торкретирование?

3 Назовите пути повышения стойкости футеровки

4. Как происходит ремонт футеровки посредством нанесения шлакового гарнисажа при раздувке шлака?

5. Что представляет собой технология нанесения шлакового гарнисажа.

6. Назовите новые направления в технологии нанесения шлакового гарнисажа на футеровку кислородных конвертеров

Использованная литература:

1. Огнеупорные материалы и способы повышения стойкости футеровки конвертеров по опыту группы «Магнезит» / Л.М. Аксельрод, А.П.Лаптев, А.А.Шляпин // Новые огнеупоры. 2007. №3. стр 57.

2. Конвертерное производство стали / Б.М.Бойченко, В.Б.Охотский, П.С.Хар-лашин // Днепропетровск. 2005г. 486с.

3. Подручный сталевара конвертера / Чиграй И.Д. // М., «Металлургия», 1977. 304 с.

4. Опыт использования MgO-содержащих материалов для повышения стойкости футеровок конвертеров / к.т.н. А.В.Кушнарев, к.т.н. Э.А.Вислогузова, А.С.Ус-тенко, С.А.Ремиго ОАО «НТМК» // Новые огнеупоры, 2007г №4 стр 3-5.

5. Технология торкретирование огнеупорных масс. Современный уровень развития техники / Кр.Вольф, К.Вольф, В.Гартен // Новые огнеупоры 2007г №3 стр 111-114.

6. Новые направления в технологии нанесения шлакового гарнисажа на футеровку кислородных конвертеров / Р.Ф.Нугуманов, Т.Р.Галиуллин, Е.В.Протопопов, А.Г.Чернятевич, В.В.Соколов, А.В.Амелин (ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат», Сибирский государственный индустриальный университет) // ОАО «Черметинформация». Бюллетень «Черная металлургия» 2007г №10 стр 24-27.