

УДК 669.181.28

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ ШЛАКОВ СИЛИКОМАРГАЦА

*д.т.н., проф. Большаков В.И. *, к.т.н. Куцин В.С. **,
д.т.н., проф. Щербак С.А. *, к.т.н. Неведомский В.А. **,
асп. Елисеева М.А. **

ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ОАО «Никопольский завод ферросплавов»

Постановка проблемы. В настоящее время весь силикомарганец на ОАО «Никопольский завод ферросплавов» выплавляется в рудотермических печах РПЗ-48 мощностью 63 МВА. Печь имеет шесть линейно расположенных прямоугольных электродов размером 3000x750 мм с расстояниями между осями 3300 мм. Выплавку сплава СМн-17 в закрытой печи ведут при рабочем напряжении 198 – 218,5 В и токе 106 – 96 кА. Загрузка шихты непрерывная, нижний конец электродов находится на расстоянии 0,9 – 1,2 м от подины. Нормальная работа печи характерна устойчивой посадкой электродов, равномерным сходом шихты; давление газа под сводом составляет 3 – 5 Па, температура 750 °С; состав: 8 % Н₂, 70 – 80 % СО и 1 % СО₂. Количество отходящего ферро-сплавного газа – 8000 м³/ч. Выпуск продуктов плавки – металла и шлака производят поочередно из каждой летки печи, расположенных по длине печи (рис. 1).

Из всего множества физико-химических, тепло-физических и электрических процессов, происходящих в рудотермических печах, большой научный и практический интерес представляют, прежде всего, с точки зрения химического состава образующегося шлака, вопросы последовательности превращений каждого компонента шихты, а также формирование в ванне минеральных структурных зон.

Цель статьи. Целью работы является изучение превращений шихтовых материалов в рудотермических печах.

Изложение основного материала. Нами были изучены превращения шихтовых материалов в печи № 16 плавильного цеха № 2 ОАО «Никопольский завод ферросплавов» выплавляющего силикомарганец марки СМн-17. Через 48 часов после остановки печи и интенсивного охлаждения ванны-«замораживания», были отобраны пробы с различных горизонтов ванны печи (рис. 2), которые подвергали химическому, петрографическому и рентгенофазовому анализам.

В ванне печи условно можно выделить следующие зоны (рис. 2): зона неподвижной шихты (А), зона первичного шлака (Б), зона коксового слоя (В), зона конечного шлака (Г) и зона металла (Д). В зоне А поступающая на колошник печи шихта прогревается до 250 – 450 °С встречным потоком реакционных газов и шунтирующими токами. В результате из шихтовых материалов удаляется гигроскопическая влага, а также протекают процессы термической диссоциации примесей карбонатов (Са, Мп)СО₃ и марганцевых

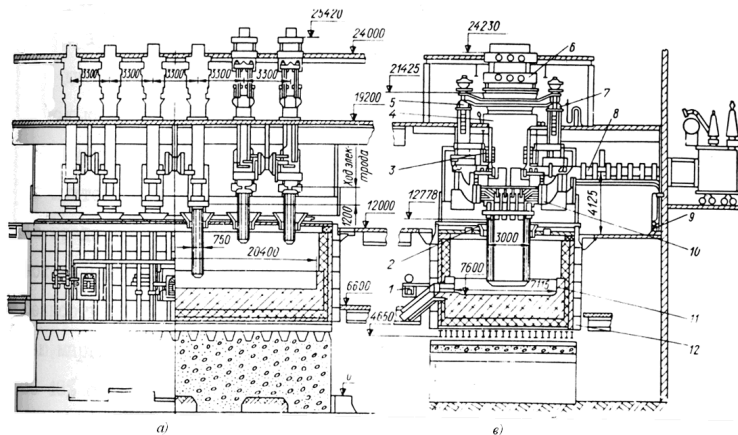


Рис. 1. Рудовосстановительная прямоугольная закрытая электропечь типа РПЗ-48 цеха № 2 НЗФ мощностью 63 МВА для выплавки силикомарганца
 1 – аппараты для открытия и закрытия леток; 2 – свод; 3 – устройство фиксации электродов; 4 – уплотнения; 5 – система гидропривода; 6 – устройство для перепуска электродов; 7 – гидродоёмник; 8 – электропитание; 9 – водоохлаждение; 10 – электродержатель; 11 – угольно-графитовая футеровка; 12 – кожуш

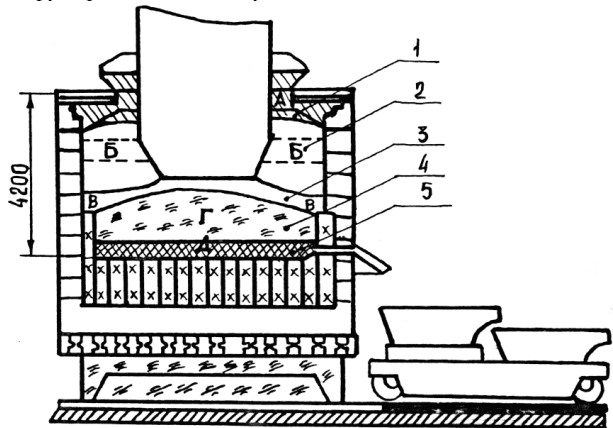


Рис. 2. Схема основных зон ванны печи РПЗ при выплавке силикомарганца
 А – неподвижная шихта; Б – первичный шлак; В – коксовый слой;
 Г – конечный шлак; Д – металл; 1, 2, 3, 4, 5 – места отбора проб для исследований

минералов до Mn_2O_3 . В образцах, взятых в зоне из глубины 200 – 500 мм, заметно образование гаусманита Mn_3O_4 , силикатных фаз в виде стекла и тейфрита Mn_2SiO_4 , а также манганозита MnO и дисперсных королек сплава, которые являются продуктами диспропорционирования оксидов марганца и кремния низших степеней окисления. Нижний уровень этой зоны определяется температурой начала плавления ($1120\text{ }^\circ\text{C}$) наиболее легкоплавкого компонента MnO_2 и находится на глубине 700 – 850 мм от уровня колошника. Зона Б расположена на глубине 900 – 2000 мм от уровня колошника. Материалы ее верхнего горизонта несколько ошлакованы, пористы. Образовавшаяся в глубине зоны стеклофаза неоднородна, густо насыщена дисперсными включениями металла, карбидами и оксидами марганца и кремния. Имеющиеся в стекле округлые поры свидетельствуют о выделении из него газообразных веществ. Ниже уровня 1400 мм фазовые превращения приобретают более глубокий характер, усиливаются процессы шлакообразования. В оставшихся, не усвоенных расплавом, кусках марганецсодержащего сырья, с одной стороны, происходит дифференциация окисной и силикатной фаз, а с другой – количество тейфрита Mn_2SiO_4 увеличивается за счет взаимодействия окисной составляющей с кварцитом. На горизонте зоны Б (1800 – 2000 мм) продукты взаимодействия материалов представлены конгломератом, состоящим из шлака, кокса, графита и сплава. Поры в коксе заполнены стеклом, содержащим дисперсные корольки металла. Оксидный расплав, содержащий, корольки металла, стекает в нижние горизонты ванны печи. Кокс, имея меньшую плотность, всплывает в жидкой фазе, а с опускающейся шихтой поступали новые его порции. Материалы коксового слоя (в пределах 300 – 850 мм) представлены смесью шлака, графита, кокса, металлической смеси и карбида кремния. Характерной особенностью зоны В является обедненность шлакового расплава закисью марганца (29 – 32 %), а количество металла в ней составляет 36 – 48 % от массы жидкой фазы. Значительные колебания состава металлической фазы (Mn – 58– 70 %, Si – 10 – 19 %) свидетельствуют о том, что окончательное формирование сплава в этой зоне не происходит. За коксовым слоем следуют зоны конечного шлака (Г) и металла (Д). Их размеры определяются режимом выпуска продуктов плавки из печи. Эти зоны являются, в основном, отстойными, однако наличие в зоне Г прометаленного кокса и высокой температуры способствуют дальнейшему протеканию процессов восстановления марганца и кремния в сплав, а также окончательному формированию шлаковой и металлической фаз.

Значительная часть марганца и кремния восстанавливается в коксовом слое. Здесь происходило разделение продуктов плавки, а наличие прометаленного кокса и высоких температур в зоне Г приводит к завершению процессов восстановления марганца и кремния в сплав и к окончательному формированию шлака и сплава. Как правило окончательный химический состав шлака силикомарганца формируется в зоне конечного шлака и сливается при открытии летки в ковш одновременно со сплавом, где происходит дифференциация расплава и слой шлака снова формируется в ковше на поверхности сплава. Продолжительность выхода шлака при

активной мощности печи $(54 - 57) \cdot 106$ Вт и диаметре летки 0,18 – 0,2 м составляет примерно 30 мин.

Таким образом, методом систематического отбора проб шлака в процессе выпуска установлено закономерное изменение содержания окисленного и восстановленного марганца от начала к концу выпуска продуктов плавки. Минимальное количество оксида марганца содержится в шлаке нижних горизонтов ванны печи, выходящего в начале выпуска. Изменение химического состава шлака может произойти в случае увеличения продолжительности выпуска продуктов плавки, а также нарушения очередности работы леток, что может привести к обогащению металлической фазой или шихтовыми материалами с верхних горизонтов печи.

Химический анализ шлаков силикомарганца из рудотермических печей производился рентгеноспектральным методом (РСА) ежесуточно в Центральной заводской лаборатории (ЦЗЛ) на многоканальном рентгеновском спектрометре СРМ-200. Кроме того, периодически производился полный химический анализ исследовательской группой ЦЗЛ завода по всем элементам, содержащимся в шлаке по стандартным методикам.

Для выплавки силикомарганца используют марганцевые оксиды агломераты и концентраты, кварцит, коксик и флюс – доломит.

Физико-химический анализ процессов выплавки силикомарганца показал, что по мере прогрева марганцевых концентратов на колошнике печи их опускания в зону более высоких температур происходит химическое взаимодействие кремнезема с марганцевородными минералами, что сопровождается образованием первичного легкоплавкого оксидного расплава. Температура появления жидкой фазы при нагреве концентрата I сорта (содержание Mn – 43%) составляет 1160 °С, II сорт – (содержание Mn – 34 %) – всего лишь 1075 °С. Поэтому с повышением содержания кремнезема в исходных марганцевых концентратах первичное шлакообразование происходит в более высоких горизонтах печи. Поскольку температура восстановления закиси марганца сравнительно высокая, то восстановление марганца углеродом кокса происходит из жидкой оксидной фазы. Преждевременное шлакообразование приводит к накоплению в печи оксидного расплава с высоким содержанием марганца. Наличие в шихте CaO, Al₂O₃, MgO оказывает существенное влияние на получение конечных продуктов плавки: сплава и шлака. Невосстанавливаемая и практически нейтральная Al₂O₃ является шлакообразующим балластом, от которого зависит количество шлака. CaO практически полностью переходит из шихты в шлаковую фазу.

Марганец, вносимый шихтой в процессе плавки силикомарганца, распределяется между металлом, шлаком и колошниковым газом. Данные материального баланса показывают, что основными статьями потерь марганца являются потери со шлаком и улет.

Выводы. Сопоставление экспериментальных данных показывает, что существенное повышение температуры отрицательно сказывается на физических свойствах конечных шлаков. Оптимальная температура, при которой достигается извлечение марганца (при колебании содержания MnO в