

Куцин В.С. /д.т.н./, Кузьменко С.Н. /к.т.н./

ПАО «НЗФ»

Гладких В.А. /д.т.н./, Лисенко В.Ф. /к.т.н./, Лысый Д.А., Лысая Н.В. /к.т.н./, Рубан А.В.

Королевский институт технологий, Швеция

Исследование взаимосвязи технологических параметров и электрических характеристик процесса выплавки ферросиликомарганца

Методом математической статистики установлено влияние углерода, кремне-зема, металлооксидных отходов и основности шихты на интегральное (R_{Σ}) и диф-ференциальные электрические сопротивления ($R_{дш}$, R_p) и активную мощность элек-тропечи при выплавке ферросиликомарганца. Ил. 5. Библиогр.: 5 назв.

Ключевые слова: ферросиликомарганец, технологические параметры, электрические характеристики математическая статистика

The method of mathematical statistics, the influence of carbon, silica, metal oxide waste and base strength of the charge on the integral (R_{Σ}) and differential electrical resistance ($R_{дш}$, R_p) and the active power for electric smelting ferrosilicon.

Keywords: ferroalloys, process parameters, the electrical characteristics of Mathematical Statistics

При выплавке сплавов в ферросплавной электропечи одновременно протекают сложные и взаимосвязанные электрические, тепловые и физико-химические процессы, согласованное развитие которых определяется исходными и рабочими технологическими параметрами [1, 2], установление которых является актуальным.

В настоящей работе приведены результаты исследований по определению влияния технологических параметров на электрические характеристики углеродовосстановительной выплавки ферросиликомарганца в мощных ферросплавных электропечах на основе промышленных показателей в условиях ПАО «НЗФ».

Работа ферросплавных цехов осуществляется по 3-х сменному суточному графику. Массу основных химических элементов (Mn, Si) и оксидов (CaO, MgO, SiO₂), заданных в печь за смену, определяли методом расчета, исходя из заданной массы каждого компонента шихты. Химический состав ферросплава, шлака и их масса контролируется поплавно и фиксируется в плавильном журнале. Обобщение исходных данных и конечных результатов проводили за смену.

Для повышения корректности между исходными данными (масса и химический состав использованной шихты) и конечными результатами (масса и химический состав полученных ферросплава и шлака) и основными техническими показателями учитывали «транспортное запаздывание». «Транспортное запаздывание» - это тот период времени, на который происходит запаздывание прихода материалов шихты известного химического состава в реакционную зону ванны печи, где формируется конечный химический состав ферросплава, соответствующий ранее загруженной в печь шихте. Установлено, что запаздывание

шихты при выплавке марганцевых ферросплавов в мощных прямоугольных печах РПЗ-63 составляет 2 рабочие смены.

Активная мощность печи, которая является результирующим показателем мощности, выделяемой в зонах приэлектродного пространства, описывается выражением

$$P_{\Sigma} = I_{\Sigma}^2 \cdot R, \text{ МВт}, \quad (1)$$

где I_{Σ} - ток в электроде, кА; R_{Σ} - активное сопротивление приэлектродного пространства, мОм.

При постоянной величине R_{Σ} , величина тока I_{Σ} определяется электрическими характеристиками трансформатора и величиной напряжения его рабочей ступени [3]. Основным параметром регулирования технологическим процессом на практике при выплавке ферросплавов в электропечи является сопротивление приэлектродного пространства (R_{Σ}), которое зависит от его дифференциальных составляющих: сопротивления шихты ($R_{ш}$), сопротивления дуги ($R_{д}$) и сопротивления расплава - металла и шлака (R_p) [4]. Предыдущие исследования [3-5] показали, что сопротивление $R_{д}$ и $R_{ш}$ можно рассматривать как общую составляющую линейной цепи $R_{дш}$.

Работа современной мощной ферросплавной печи характеризуется большими грузопотоками и повышенным расходом шихтовых материалов, которые обладают различным электрическим сопротивлением, что оказывает влияние на изменение сопротивления приэлектродного пространства. Собственные металлосодержащие отходы, образующиеся на ферросплавном заводе, в том числе отсев фракционирования, выход которого может составлять до 10-15 %, переплавляют в составе шихты при производстве марганцевых ферросплавов.

На рис. 1 приведены сравнительные результаты исследований зависимости сопротивления приэлектродного пространства (R_3) от доли заданных отходов (разливки, шлакопереработки и отсева фракционирования) в составе шихты ($\langle G \rangle_{отх} / \langle G \rangle_{ших}$). Отсев фракционирования на 100 % представлен металлической фазой (нестандартная фракция ферросплава), а в шлако-металлических отходах содержание металлической фазы составляет 35-40 % и оксидной фазы 60-65 %. При увеличении в шихте количества шлако-металлических отходов повышается доля оксидных составляющих, что приводит к повышению сопротивления приэлектродного пространства. Повышение доли металлической части в отходах, содержание которой в них может составлять до 100 %, и увеличение количества этих отходов в составе шихты приводит к снижению сопротивления приэлектродного пространства.

Количество переплавляемых собственных отходов в составе шихты определяют на практике с учетом типа отходов и марки марганцевого ферросплава. Любой метод переплава отходов связан с расходом электрической энергии. Плавление отходов происходит в интервале температур 1240-1280 °С и образующаяся жидкая металлическая фаза при осаждении на подину растворяет восстановленный марганец и кремний и улучшает процесс формирования ферросиликомарганца.

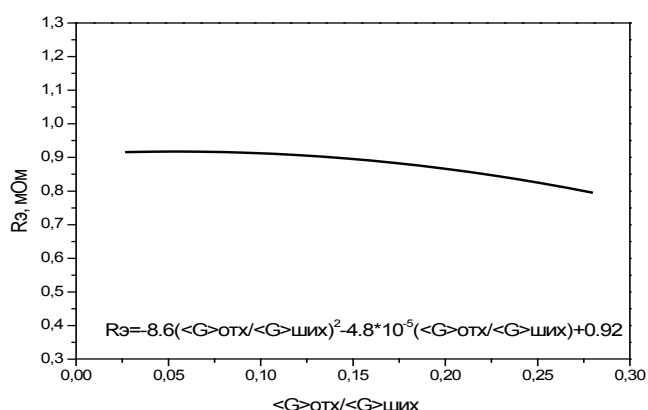


Рис. 1. Зависимость сопротивления электрода (R_3) от доли отходов в шихте ($\langle G \rangle_{отх} / \langle G \rangle_{ших}$)

Зависимость сопротивления приэлектродного пространства (R_3 , $R_{дш}$ и R_p) от массового количества кремнезема в составе ферросиликомарганцевой шихты приведена на рис. 2. Кремнезем, являясь практически диэлектриком, заметно повышает сопротивление приэлектродного пространства (R_3), как интегральную величину, а также особенно сопротивление дуга – шунта ($R_{дш}$) поскольку кварцит, как составной компонент шихты, вносит основное количество SiO_2 и оказывает заметное влияние на сопротивление шихты углеродотермического процесса выплавки ферросиликомарганца. Общий характер установленных зависимостей электрического сопротивления дуга – шунта ($R_{дш}$) и расплава (R_p) от ранее приведенных технологических параметров сохраняется и для R_3 . На

практике для оперативной корректировки электрического режима плавки и достижения более глубокой посадки электродов в ванне открытой печи для повышения сопротивления ($R_{дш}$) давали непосредственно на колошник под электроды «тяжелую колошу», т.е. без коксика, что стабилизировало нагрузку фазы, электрический и тепловой режимы плавки.

Корреляционная связь между технологическим параметром - доли твердого углерода кокса в шихте ($\langle C_{тв} \rangle / \langle Mn + SiO_2 \rangle$) и электрическими характеристиками приэлектродного пространства (R_3 , $R_{дш}$, R_p) показана на рис. 3. Активный расход шихты наблюдается при повышенном сопротивлении приэлектродного пространства, обеспечивающим высокую энергетическую (тепловую) мощность в ванне печи.

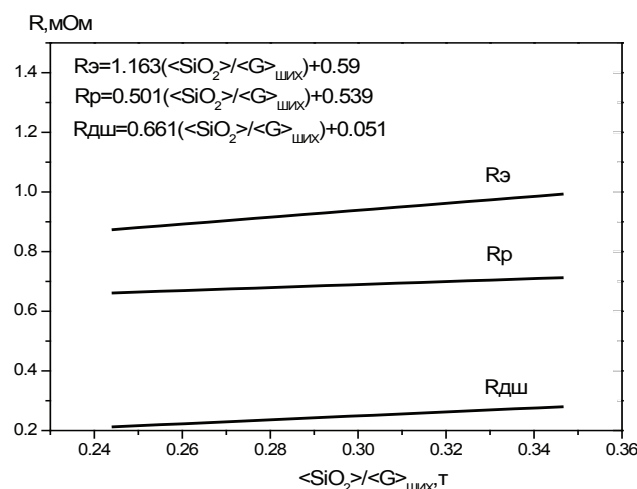


Рис. 2. Влияние удельной доли задаваемого в печь кремнезема ($\langle G \rangle_{SiO_2} / \langle G \rangle_{ших}$) на сопротивление приэлектродного пространства (R_3 , $R_{дш}$, R_p)

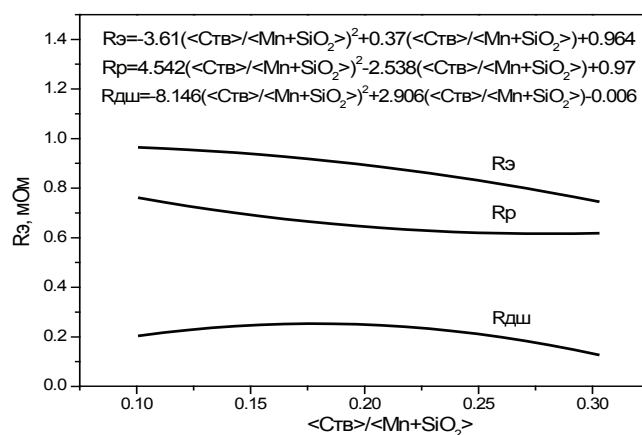


Рис. 3. Зависимость сопротивления приэлектродного пространства: электрода (R_3); дуги-шунта ($R_{дш}$); расплава (R_p) от доли углерода в шихте $\langle C_{тв} \rangle / \langle Mn + SiO_2 \rangle$

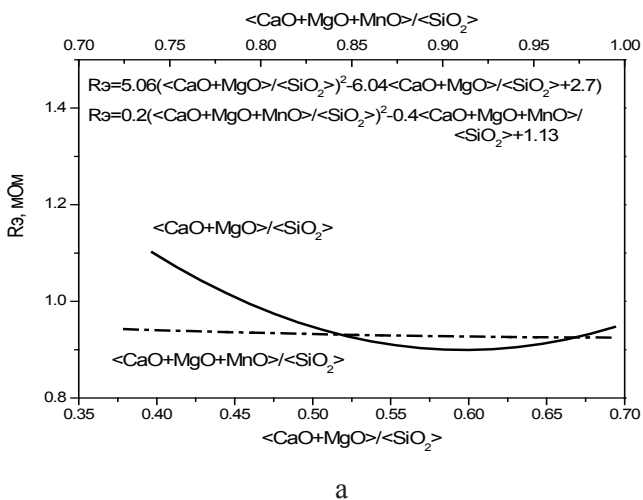
С увеличением доли углерода ($C_{тв}$) в составе шихты общее сопротивление шихты будет уменьшаться и соответственно уменьшается R_3 . При устойчивом шихтовом режиме работы печи и при повышении мощности печи количество задаваемого в печь кокса увеличивается, т.к. увеличивается масса заданной в печь шихты. Считать обособленно общее количество заданного кокса в печь ($\langle C_{тв} \rangle$) является некорректным,

т.к. доля твердого углерода в шихте должна быть постоянной при выплавке ферросплава одного и того же состава.

При ограничении мощности печи в ванну печи меньше загружается шихты. Если мощность печи увеличивают целенаправленно, путем переключения ступени напряжения трансформатора на более высокую, расход шихты увеличивается, что влияет на распределение мощности в печи. Наблюдаемое снижение сопротивления приэлектродного пространства происходит за счет повышения доли кокса в шихте.

Одним из технологических параметров, который применяется для характеристики свойств шихты, является ее основность. В качестве конкретных параметров основности применяются следующие: $\langle \text{CaO} + \text{MgO} \rangle / \langle \text{SiO}_2 \rangle - \langle B_1 \rangle$ и $\langle \text{CaO} + \text{MgO} + \text{MnO} \rangle / \langle \text{SiO}_2 \rangle - \langle B_2 \rangle$. На рис. 4 представлена корреляционная связь технологических параметров основности и сопротивления приэлектродного пространства ($R_э$, $R_{дш}$, R_p). Повышение основности шихты, применяемой при выплавке ферросиликомарганца, приводит к некоторому снижению интегрального сопротивления приэлектродного пространства ($R_э$), а также к снижению его дифференциальных сопротивлений ($R_{дш}$ и R_p). Такие зависимости определяются ранним образованием шлаковых расплавов, что весьма характерно для процессов силикатообразования легкоплавких марганцево-силикатных составов.

Активная мощность электрода и температура приэлектродного пространства являются важными показателями протекания массообменных процессов в ванне печи. Чем выше активная мощность печи, тем больше проплавляется шихты в приэлектродной зоне и соответственно увеличивается расход марганецсодержащей шихты $\langle \text{Mn} \rangle$ и кокса ($\langle C_{тв} \rangle$) (рис. 5). Увеличение в обоснованных рабочих пределах для конкретного ферросплава отношения $\langle C_{тв} \rangle / \langle \text{Mn} + \text{SiO}_2 \rangle$ снижает сопротивление шихты, увеличивает токи шихты и выделение в ней мощности. На практике на открытых электропечах, при потере нагрузки электродом, вокруг него задавали кокс, что увеличивало электропроводность шихты, ток электрода возрастал и увеличивалась активная мощность электрода (P_a).



а

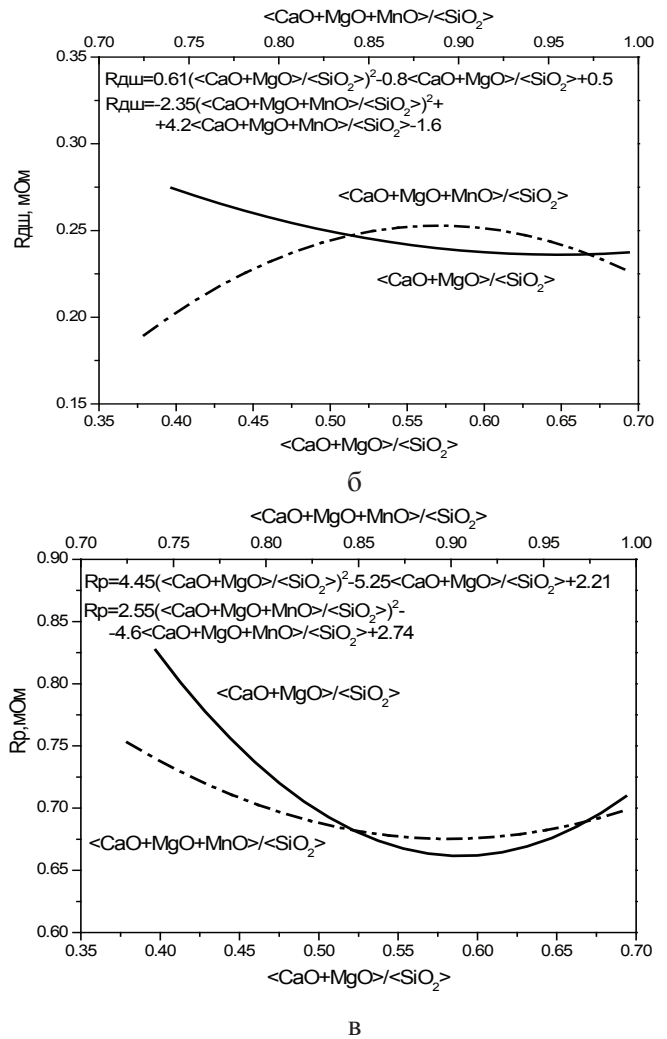


Рис. 4. Зависимость сопротивления приэлектродного пространства: а – электрода ($R_э$); б – дуги – шунта ($R_{дш}$); в – расплава (R_p) от основности шихты в шихте $\langle B_1 \rangle$ и $\langle B_2 \rangle$

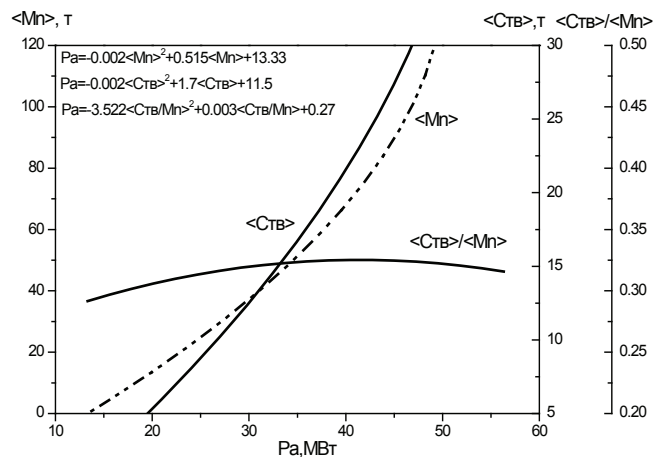


Рис. 5. Характер влияния активной мощности электрода (P_a) на количество заданных в печь (расход) марганца ($\langle \text{Mn} \rangle$), кокса ($\langle \text{C}_{тв} \rangle$) и взаимосвязь с технологическим параметром $\langle \text{C}_{тв} \rangle / \langle \text{Mn} \rangle$

Таким образом, на основе промышленных показателей выплавки ферросиликомарганца с учетом «транспортного запаздывания», показана роль электрического сопротивления приэлектродного пространства, как определяющей электрической характе-

ристики, в регулировании энергетической и тепловой мощности в ванне ферросплавной электропечи. Установлены корреляционные связи основных технологических параметров и электрических характеристик (сопротивление электрода ($R_э$), дуги – шунта ($R_{дш}$), расплава (R_p) и активной мощности печи (P_a).

Устойчивый рабочий электрический режим углеродовосстановительной плавки на практике необходимо поддерживать путем оптимизации технологических параметров.

Библиографический список

1. Гасик М.И., Лякишев Н.П. Физикохимия и технология электроферросплавов: Учебник для вузов. – Днепропетровск: ГНПП «Системные технологии», 2005. – 448 с.

2. Рудовосстановительные электропечи и технологии производства марганцевых ферросплавов. Под ред. Куцина В.С. и Гасика М.И. / В.С. Куцин, Б.Ф. Величко, М.И. Гасик и др. – Днепропетровск: НМетАУ, 2011. – 508 с.

3. Определение оптимальных параметров электрического режима при выплавке ферросиликомар-

ганца / В.С. Куцин, В.А. Гладких, С.Н. Кузьменко и др. // Сталь.- 2010. - № 1. – С. 55–57.

4. Исследование влияния активного сопротивления приэлектродного пространства рудовосстановительной электропечи на технико-экономические показатели выплавки ферросиликомарганца / А.Н. Овчарук, С.Н. Кузьменко В.А. Гладких и др. Матер. У Междун. науч.-техн. конф. «Ключевые аспекты развития электрометаллургической отрасли». – К.: УкррФА, 2012. – С. 82–84.

5. Исследование основных функциональных связей между технологическими параметрами, электрическими характеристиками и технико-экономическими показателями выплавки ферросиликомарганца / В.А. Гладких, В.И. Ольшанский, С.Н. Кузьменко и др. // Металлург. и горноруд. пром-сть. – 2012. - № 3. – С. 25–29.

Поступила 14.05.2013



К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ!

Поскольку наш журнал входит в перечень изданий, в которых могут публиковаться результаты диссертационных работ по техническим (Бюл. ВАК №5, 1999) и экономическим (Бюл. ВАК №6, 2000) наукам, редакция обращается к Вам с просьбой при подготовке статей учитывать требования **Постановления Президиума ВАК Украины №7-05/1 от 15.01.2003 “ПРО ПІДВИЩЕННЯ ВИМОГ ДО ФАХОВИХ ВИДАНЬ, ВНЕСЕНИХ ДО ПЕРЕЛІКІВ ВАК УКРАЇНИ”** (Бюл. ВАК №1, 2003), которыми предписывается:

”...3. Редакційним колегіям організувати належне рецензування та ретельний відбір статей до друку. Зобов’язати їх приймати до друку у виданнях, що виходитимуть у 2003 році та у подальші роки, лише наукові статті, які мають такі необхідні елементи: постановка проблеми у загальному вигляді та її зв’язок із важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв’язання даної проблеми і на які спирається автор, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття; формулювання цілей статті (постановка завдання); виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку.

4. Спеціалізованим ученим радам при прийомі до захисту дисертаційних робіт захищувати статті, подані до друку, починаючи з лютого 2003 року, як фахові лише за умови дотримання вимог до них, викладених у п. 3 даної постанови...”

Журнал «Металлургическая и горнорудная промышленность» читают практически на всех предприятиях металлургического комплекса Украины и СНГ, в десятках ВУЗов и НИИ, а также в ряде зарубежных стран, поэтому редакция еще раз обращается к авторам с просьбой тщательно вычитывать материалы перед отправкой в редакцию.

Редакция журнала «Металлургическая и горнорудная промышленность» Тел. (0562) 46-12-95, отв. секретарь (056) 744-81-66. E-mail: metinfo@metinform.dp.ua; mgp@metalljournal.com.ua.