

Влияние введения твердого восстановителя в железорудный слой на восстановление оксидов железа*

Показано, что введение коксового орешка с различной его долей в железорудный слой позволяет существенно интенсифицировать процесс восстановления оксидов железа. Использование коксового орешка в доменной плавке может позволить снизить участие углерода скипового кокса в процессе прямого восстановления оксидов железа, что может обеспечить уменьшение потерь углерода кокса и повышение среднего размера кусков кокса по высоте доменной печи.

Ключевые слова: коксовый орешек, металлургический кокс, скиповый кокс, степень восстановления, фракция, газификация

За последние 40-50 лет удельный расход кокса снижен более чем в 2 раза. Это снижение было обеспечено за счет применения более качественного железорудного сырья и кокса, повышения температурно-дутьевого потенциала горна доменной печи, вдувания большого количества дополнительного топлива и т. д. Для получения конкурентоспособной продукции при производстве чугуна основной задачей, стоящей перед доменщиками, является снижение удельного расхода скипового кокса.

Одним из способов повышения эффективности доменной технологии является замена более дорогостоящего кокса дополнительными видами топлива, в частности, пылеугольным топливом (ПУТ). Однако вдувание ПУТ обуславливает ухудшение газопроницаемости столба шихты. Такое снижение газопроницаемости объясняется как уменьшением толщины самого газопроницаемого слоя – коксовой линзы, так и разрушением кокса в результате воздействия на него физических параметров шахты доменной печи – температуры окислителей CO_2 и H_2O , щелочей и др.

Для обеспечения высокопроизводительной работы доменной печи предложены мероприятия, обеспечивающие повышение газопроницаемости: организация осевого газового потока за счет создания коксовой отдушины; улучшение качества железорудных материалов (повышение содержания $\text{Fe}_{\text{общ}}$, основности, прочности, снижение содержания мелочи 5-0 мм); повышение качества кокса и подготовка его к доменной плавке по фракционному составу и др.

Одним из основных требований, предъявляемых к коксу, является его высокая механическая прочность как в холодном, так и горячем состояниях. Но не менее важной является подготовка кокса к доменной плавке по фракционному составу.

Современные требования подготовки металлургического кокса к доменной плавке по фракционному составу заключаются в следующем [1-3]: увеличение нижнего размера скипового кокса до 30-40 мм; выделение фракции >80 мм с последующим ее дроблением; выделение из отсева кокса коксового орешка

фракции +10(15) мм с последующей загрузкой его в смеси с железорудной частью шихты.

На большинстве современных зарубежных доменных печах такая подготовка уже осуществлена в связи с массовым внедрением технологии пылевдувания [4].

За последние 15 лет в Украине и России возрос интерес к указанной выше подготовке кокса. Проведенные исследования показали возможность и эффективность применения такой технологии [5-11].

В ПАО «Енакиевский металлургический завод» (ПАО «ЕМЗ») работа по подготовке кокса к доменной плавке по фракционному составу была начата в 2000 г. В настоящее время в доменном цехе работает склад окатышей и кокса (СОК), позволяющий минимизировать (до 5 % и менее) содержание в коксе крупных (>80 мм) фракций с последующим отсевом на коксовых грохотах фракции <32(36) мм. Из отсева кокса на участке выделения коксового орешка выделяют фракцию >15 мм с последующей загрузкой ее в смеси с железорудной частью шихты [1, 8, 9].

В связи с освоением режима доменной плавки с вдуванием на 1 т чугуна более 150 кг ПУТ в доменном цехе ПрАО «Донецксталь» – металлургический завод (ПрАО «Донецксталь») потребовалась комплексная подготовка кокса к доменной плавке. Для освоения указанного режима доменной плавки одним из элементов комплексной подготовки кокса улучшенного качества является повышение нижнего размера скипового кокса до 28-30 мм с последующим выделением из отсева кокса коксового орешка (>15 мм) и загрузкой его в доменную печь в смеси с железорудной частью шихты [10].

Подготовка кокса к доменной плавке по фракционному составу и загрузка коксового орешка в количестве до 30 кг/т чугуна в железорудную часть шихты в ПАО «ЕМЗ» и ПрАО «Донецксталь» позволили снизить на 1 т чугуна сумму расхода скипового кокса и коксового орешка на 4-8 кг и уменьшить потери кокса в виде отсева на 6,7-13,0 кг [10, 11].

На доменной печи 3 Kakogawa (фирма Kobe Steel,

*Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. ДонНТУ С. Л. Ярошевского. В работе от ДонНТУ принимали участие канд. техн. наук., старш. науч. сотрудник Н. С. Хлапонин и мастер производственного обучения В. Ф. Сорокин.

Япония) проведены исследования по оценке использования коксового орешка в доменной плавке. Показано, что применение коксового орешка различной крупности в смеси с железорудной частью шихты позволило сохранить на периферии неизменный средний размер кусков кокса от уровня засыпи до распара. Так, например, при введении в железорудный слой коксового орешка в количестве 17-30 кг/т чугуна средний размер кусков кокса в распаре снижался всего на 1 мм по сравнению с загружаемым коксом, и составил 47 мм. Авторы пришли к выводу о возможности влияния на средний размер кусков кокса по высоте печи за счет оптимизации режима газификации углерода коксового орешка [12].

Теоретические и экспериментальные соображения дают основания рассчитывать на существенную интенсификацию процесса восстановления оксидов железа в железорудном слое при введении в него коксового орешка.

По данным работы [13], восстановление оксидов железа из смеси мелкодисперсных оксидов и углерода «...приобретает практическое значение, сопоставимое со скоростью восстановления окискованного сырья газом при 800-900 °С. При 1200-1250 °С начальная стадия процесса протекает настолько бурно, что сопровождается кипением. Слой мелкодисперсных материалов толщиной 20-30 мм полностью металлизировался за время 100-160 мин, сохраняя твердое и губчатое состояние».

Заслуживают внимания обстоятельные работы специалистов Института черной металлургии Аахенского университета (Германия), которые изучали влияние введения коксового орешка на степень восстановления агломерата и окатышей в условиях, характерных для зоны когезии доменной печи. Восстановлению в атмосфере 30 % CO и 70 % N₂ подвергались железорудные материалы в смеси с коксовым орешком (соотношение железорудный материал/орешек поддерживалось постоянным и составляло 3/1) при постоянной температуре. Так, например, при выдержке в течение 120 мин и температуре восстановления 1100 °С введение коксового орешка в слой окатышей позволило повысить их степень восстановления примерно на 25 % [13, 14].

В связи с повышением интереса к технологии доменной плавки с использованием коксового орешка возникла необходимость оценить степень восстановления оксидов железа только за счет углерода коксового орешка и возможную экономию кокса, достигаемую за счет его подготовки.

Цель работы – оценить влияние введения коксового орешка в железорудный слой шихты на степень восстановления оксидов железа и возможное изменение расхода кокса, обуславливаемое его подготовкой к доменной плавке по фракционному составу.

Восстановление железорудных материалов при введении коксового орешка определяли на установке, приведенной на рис. 1. Основным элементом установки является нагревательная электропечь 1 типа СУОЛ. Необходимое значение температуры в электропечи поддерживали автоматическим регулятором температуры 5. Температуру в нагревательной электропечи измеряли термопарами 3 типа ПП-1 и фиксировали вторичным прибором – автоматическим потенциометром 4 типа КСП-2. В электропечь помещали алундовый тигель 2 с исследуемым материалом. Изменение веса во время эксперимента контролировалось аналитическими весами 9 типа Т-5000. Для создания в нагревательной электропечи нейтральной среды использовали инертный газ, заправленный в баллон 6 с рабочим давлением 10-15 МПа. В качестве инертного газа использовали газообразный аргон, который соответствовал требованиям ГОСТ 10157-79. Через систему шлангов 8 и алундовую трубку 7, инертный газ подавали в электропечь.

На рис. 2 представлена температурная зависимость нагрева материала в нагревательной печи, где видно, что нагрев от 100 до 500 °С осуществлялся в течение 20 мин со скоростью 20 °С/мин. При дальнейшем повышении температуры от 600 до 1100 °С скорость нагрева снижалась от 14,3 до 3,4 °С/мин. Такое изменение скорости нагрева железорудных материалов сопоставимо со скоростью нагрева их в доменной печи.

При проведении опытов в качестве исследуемых материалов использовали окатыши ПАО «Северный горно-обогатительный комбинат» (СевГОК) (г. Кривой Рог), коксовую мелочь ОАО «Енакиевский коксохимический завод» (ЕКХЗ) (г. Енакиево), кокс класса «Премиум» ЧАО «Макеевкокс» (г. Макеевка) и экспериментальный высокорекреакционный кокс со следующими характеристиками:

– окатыши СевГОК (в %): Fe_{общ} – 60,2; Fe₂O₃ – 86,06; CaO – 4,97; MgO – 1,23; SiO₂ – 7,8; Al₂O₃ – 0,3; MnO – 0,1; S – 0,03; P₂O₅ – 0,022; основность (CaO + MgO)/SiO₂ – 0,79, влага – 0,7; насыпная плотность – 1850 кг/м³, прочность на раздавливание – 230 кг/окатыш;

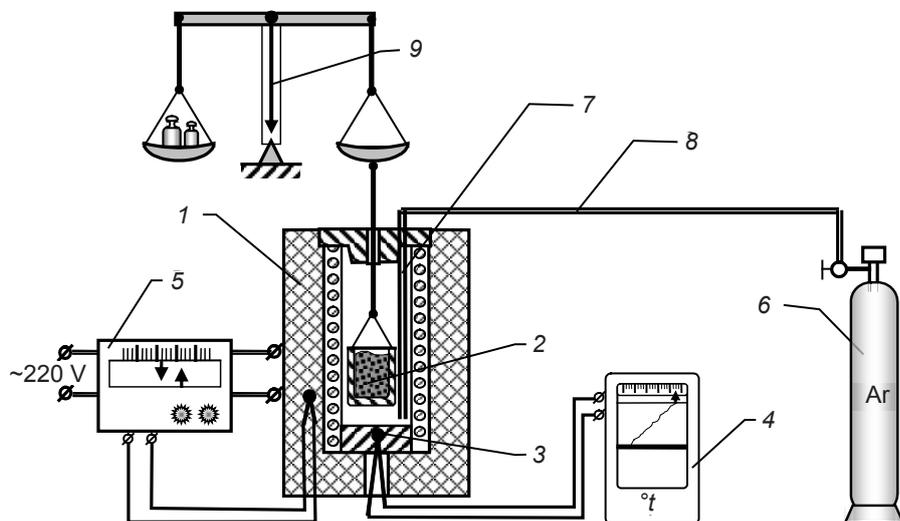


Рис. 1. Схема установки для восстановления железорудных материалов

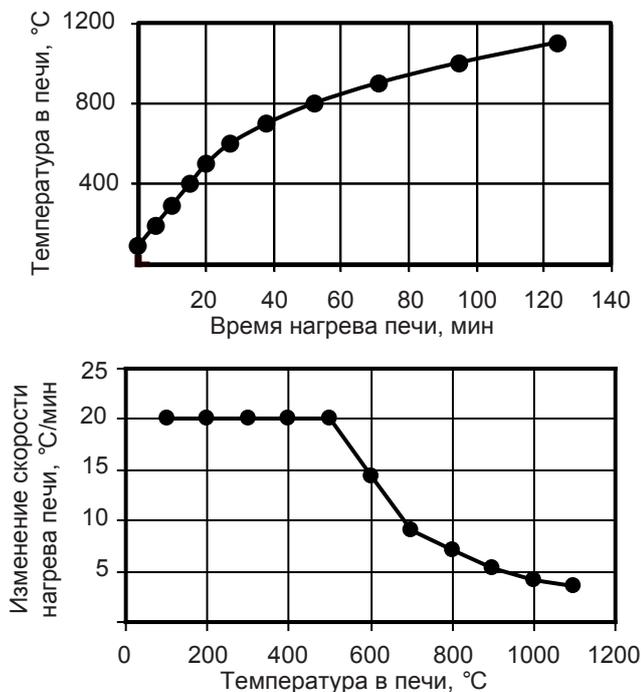


Рис. 2. Температурная характеристика нагревательной печи

– коксовая мелочь ЕКХ3 (в %): зола – 17,2; сера – 1,48; влага – 1,23; летучие вещества – 2,44; CSR – 30-40, насыпная плотность – 545 кг/м³;

– кокс «Премиум» (в %): зола – 10,4; сера – 0,64; летучие вещества – 0,6; M25 – 89,3; M10 – 6,5; CRI – 31,3; CSR – 57,2;

– экспериментальный высокорреакционный кокс (в %): зола – 10,9; сера – 0,7; летучие вещества – 1,5; M25 – 65,5; M10 – 14,2; CRI – 65,0; CSR – 19,5; приготовлен из 100 % кузбасских углей марки Г.

До проведения экспериментов по восстановлению производили дробление, усреднение и выделение необходимых фракций окатышей СевГОК и твердого восстановителя (крупность окатышей и коксового орешка составляла 5-7 мм). Непосредственно перед восстановлением данные материалы высушивали в сушильном шкафу при температуре 105 ± 5 °C до постоянной массы и повторно рассевали для удаления мелких фракций.

Для проведения экспериментов за базу была принята работа доменной печи с рудной нагрузкой 3,57 т/т. При моделировании требовалось сохранение рудной нагрузки в лабораторных условиях. Следовательно, на 25 г окатышей необходимо дать 7 г кокса. Однако, поскольку нами изучалось влияние введения части твердого восстановителя (кокового орешка) в железорудную часть шихты, то при его доле 10, 20, 30 и 40 % расход составит 0,7, 1,4, 2,1 и 2,8 г соответственно.

Опыты проводили следующим образом. В рабочее пространство электропечи предварительно нагретой до температуры 200-220 °C устанавливали алундовый тигель с исследуемыми материалами. Сразу после установки алундового тигля в электропечь опускали алундовую трубку, через которую в печь подавали аргон в количестве 0,2-0,3 дм³/мин в течение первых 3 мин (расход аргона в первые ми-

нуты был взят из учета объема восстановительной камеры, равной 0,5 дм³). Дальнейший расход аргона во время всего опыта поддерживали на уровне 0,1 дм³/мин. Далее производили нагрев алундового тигля с материалами до необходимой температуры и выдерживали при данной температуре в течение определенного времени. На протяжении всего опыта автоматическим регулятором температуры контролировали значение температуры в рабочем пространстве электропечи, а аналитическими весами Т-5000 – потерю веса. После выдержки пробы при заданной температуре ее извлекали из электропечи и для предотвращения повторного окисления оксидов железа накрывали тиглем большего размера и засыпали коксиком.

Для оценки максимального времени восстановления окатышей в смеси с коксовым орешком, приготовленного из отсева кокса ЕКХ3, проведены постановочные опыты с его расходом, равным 30 %. Алундовый тигель с исследуемыми материалами устанавливали в предварительно нагретую электропечь, нагревали до 1000 °C и выдерживали при данной температуре. Время выдержки пробы варьировалось от 0 до 210 мин с интервалом 30 мин. Степень восстановления оценивали по потере веса по формуле

$$B = \frac{(M_1 - M_2)}{O} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где M₁ и M₂ – начальная и конечная масса окатышей, г; O – начальное содержание кислорода в окатышах, г.

На рис. 3 показано изменение степени восстановления оксидов железа. Из рисунка видно, что она не изменяется при выдержке пробы более 150 мин. Ввиду этого в дальнейших экспериментах по восстановлению максимальное время выдержки не превышало указанную величину.

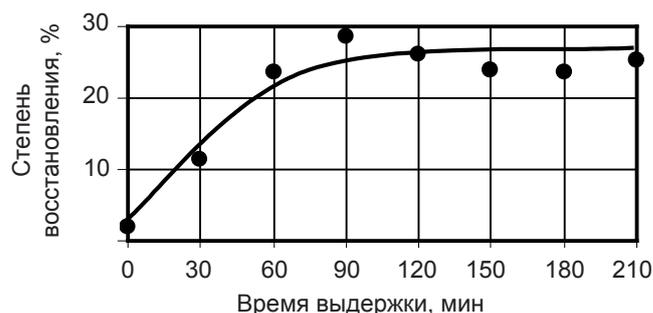


Рис. 3. Зависимость степени восстановления окатышей при введении в них коксового орешка в количестве 30 % и выдержке при температуре 1000 °C (время нагрева пробы от 200 до 1000 °C не показано)

В лабораторных условиях проведено исследование восстановления железорудных окатышей СевГОК коксовым орешком, приготовленным из кокса марки «Премиум» (CRI 31,3 %; CSR 57,2 %) и экспериментального высокорреакционного кокса (CRI 65 %; CSR 19,5%). В железорудный материал вводили коксовый орешек в количестве 30 %. Пробу устанавливали в предварительно нагретую электропечь, нагревали до 1000 °C и выдерживали при

данной температуре в течение 150 мин. Результаты экспериментов приведены в табл. 1.

Влияние реакционной способности кокса на степень восстановления

Вид топлива	Потеря веса окатышами, г	Степень восстановления (по потере веса), %	Среднее значение степени восстановления, %
Низкорреакционный кокс (CRI 31,3 %)	1,35	20,99	20,0
	1,30	20,19	
	1,22	18,86	
Высокорреакционный кокс (CRI 65 %)	2,02	31,26	31,3
	2,13	32,94	
	1,92	29,75	

Из табл. 1 видно, что замена низкорреакционного коксового орешка высокореакционным позволила повысить степень восстановления железорудного материала с 20 до 31,3 % (на 50 % отн.). На рис. 4 показано изменение степени восстановления окатышей от времени нагрева и выдержки. Видно, что при нагреве материалов до 1000 °С степень восстановления составила всего 5,9 % при применении низкорреакционного коксового орешка и 14 % – при применении высокореакционного. Существенное повышение степени восстановления происходит при выдержке проб в течение первых 60 мин. Степень восстановления окатышей при применении коксового орешка из высокореакционного кокса по сравнению с низкорреакционным на всем участке выдержки (рис. 4, заштрихованная область) практически в 1,5-2 раза выше. Кроме того, ручная разборка проб показала, что весь коксовый орешек, полученный из высокореакционного кокса, находился в порошкообразном состоянии с признаками оплавления золы.

Проведены эксперименты при нагреве окатышей без введения в них коксового орешка. Нагрев окатышей осуществлен до температур 900, 1000 и 1100 °С с последующей их выдержкой при указанных значениях температур в течение 150 мин. Результаты взвешиваний на аналитических весах Т-5000 не зафиксировали изменения веса (рис. 5).

Проведено также восстановление окатышей в

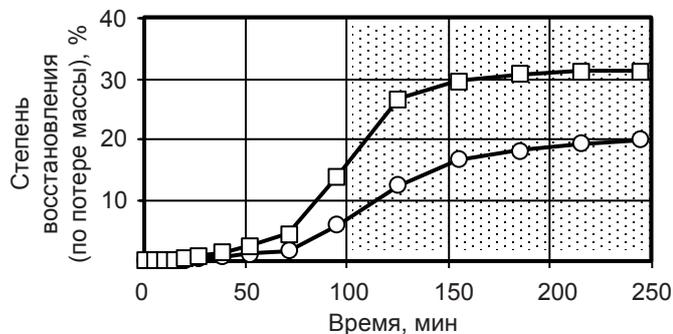


Рис. 4. Изменение степени восстановления окатышей при введении в них коксового орешка различной реакционной способности: ○ – низкорреакционный кокс; □ – высокореакционный кокс; заштрихованная область – выдержка при 1000 °С; незаштрихованная область – время нагрева пробы до 1000 °С

смеси с коксовым орешком, приготовленного из коксовой мелочи ЕКХЗ. Пробы устанавливались в предварительно нагретую электропечь, нагревались до 900, 1000 и 1100 °С и выдерживались при указанных температурах в течение 150 мин. Из рис. 5 видно, что повышение температуры восстановления позволило существенно интенсифицировать процесс восстановления оксидов железа. Так, например, применение коксового орешка в количестве 30 % и выдержка проб в течение 150 мин с температурой 900 °С по сравнению с температурами 1000 и 1100 °С способствует повышению степени восстановления с 11 до 26,5 и 31,6 % соответственно, или в 2,4-2,9 раза.

Повышение доли коксового орешка в смеси с окатышами также способствовало повышению степени восстановления оксидов железа. Так, например, повышение расхода коксового орешка с 10 до 20-40 % при нагреве до температуры 1100 °С и выдержке пробы в течение 150 мин способствовало повышению степени восстановления с 7,1 до 24,7-40,5 %, или в 3,5-5,7 раза (рис. 5). Кроме того, соответствующее

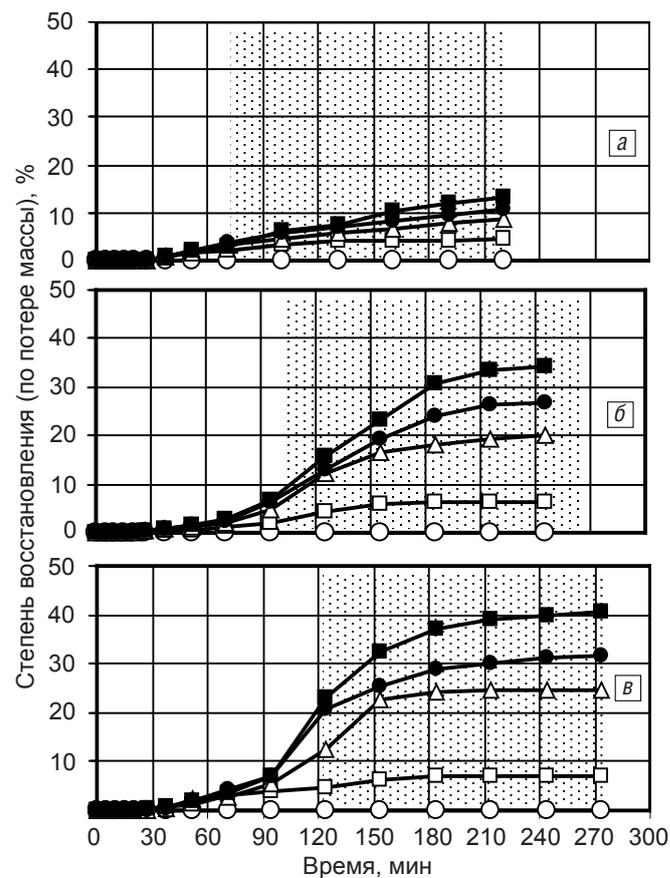


Рис. 5. Зависимость степени восстановления окатышей от расхода коксового орешка: расход коксового орешка, %: 0 (○), 10 (□), 20 (Δ), 30 (●), 40 (■); температура нагрева и выдержка при данной температуре, °С: а – 900, б – 1000, в – 1100; заштрихованная область – выдержка при заданной температуре; незаштрихованная область – время нагрева пробы до заданной температуры

повышение доли коксового орешка позволило повысить содержание в пробах металлического железа с 0,3 до 2,3-8,9 % (рис. 6).

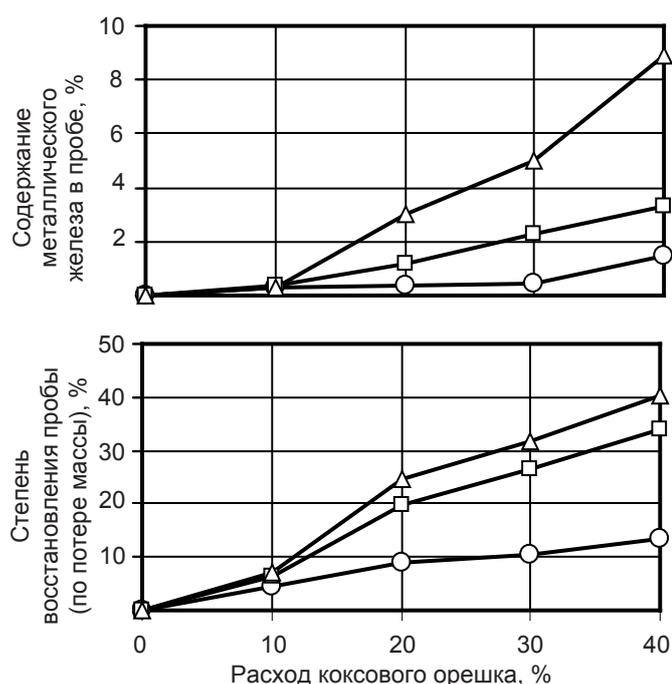


Рис. 6. Влияние введения в окатыши коксового орешка и температуры на степень восстановления и содержание металлического железа в пробах при нагреве их: ○ – до 900 °С за 71 мин с последующей выдержкой в течение 150 мин; □ – до 1000 °С за 95 мин с последующей выдержкой в течение 150 мин; Δ – до 1100 °С за 124 мин с последующей выдержкой в течение 150 мин

Оценено изменение средней скорости восстановления в зависимости от расхода коксового орешка в смеси с окатышами. Среднюю скорость восстановления оценивали по формуле

$$V_c = \frac{B}{t}, \quad (2)$$

где B – степень восстановления в конце опыта, %; t – время восстановления, равное времени нагрева и выдержке проб, мин.

Из рис. 7 видно, что повышение доли коксового орешка с 10 до 20-40 % при температуре восстановления 900 °С средняя скорость восстановления повышалась в 2-3 раза. С повышением температуры восстановления до 1000-1100 °С средняя скорость восстановления возрастала в 2,7-5,0 раз.

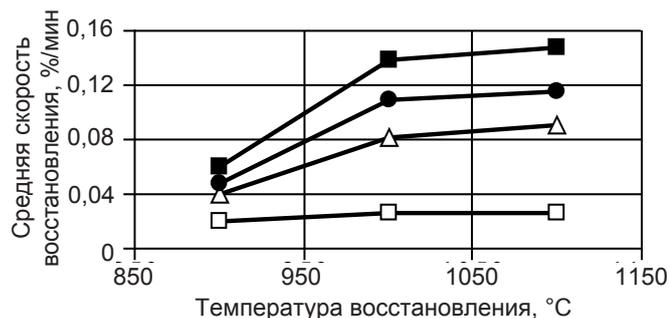


Рис. 7. Зависимость средней скорости восстановления окатышей от расхода коксового орешка (обозначения см. рис. 5)

При выплавке передельного чугуна и степени прямого восстановления 30 % можно ожидать, что около 280 кг железа будет восстановлено прямым путем. Для восстановления указанного количества железа необходимо затратить $280 \cdot 12/56 = 61$ кг углерода. Следовательно, если бы в реакциях прямого восстановления участвовал только углерод коксового орешка, то при определенном его расходе можно полностью исключить участие углерода кокса. Из табл. 2 видно, что введение в железорудную часть шихты коксового орешка в количестве 40 % позволяет полностью исключить участие углерода кокса в реакциях прямого восстановления. Кроме того, образующийся газ CO после реакции прямого восстановления может участвовать в реакциях косвенного восстановления оксидов железа, что позволит обеспечить дополнительную экономию кокса.

Таблица 2

Расчет участия углерода коксового орешка в реакциях восстановления оксидов железа

Показатели	Численные значения показателей при расходе коксового орешка, %				
	0	10	20	30	40
Расход коксового орешка, кг/т чугуна	0	47,8	94,7	141,2	188,0
Степень восстановления оксидов железа только за счет коксового орешка, % (по данным рис. 6)	0	7,1	24,7	31,6	40,5
Количество углерода коксового орешка, кг/т чугуна	0	41,6	82,4	122,8	163,6
В том числе, расход углерода коксового орешка для прямого восстановления оксидов железа, кг/т чугуна	0	3,0	20,4	38,8	66,3

Выполнен расчет ожидаемого снижения расхода кокса для условий Украины при подготовке его по фракционному составу и применении коксового орешка. В расчетах принято: базовый расход скипового кокса составил 500 кг/т чугуна; процентное содержание коксового орешка определялось исходя из суммы скипового кокса и коксового орешка; технический анализ кокса и коксового орешка, %: зола – 11, сера – 1, летучие – 1; содержание фракции >80 мм в скиповом коксе снизится с 10 до 5 % за счет ее выделения и дробления; поступление в доменную печь фракции <10 мм снизится на 1 % (абс.) за счет более эффективного грохочения скипового кокса при повышении размера нижнего сита коксового грохота с 25 до 40 мм.

Из табл. 3 видно, что освоение технологии доменной плавки с использованием подготовленного по фракционному составу кокса и применением коксового орешка может обеспечить снижение расхода кокса до 477,9-469,9 кг/т чугуна (4,4-6,0 %). Такое снижение расхода кокса при использовании коксового орешка может быть обеспечено за счет улучшения газопроницаемости столба шихты на 12,5-20,7 кг/т чугуна и подготовки кокса к доменной плавке на 9,6-9,4 кг/т чугуна.

Оценка экономии кокса при его подготовке по фракционному составу и использовании коксового орешка

Показатели	Обычная подготовка кокса	Численные значения показателей при расходе коксового орешка, %			
		10	20	30	40
Расход коксового орешка, кг/т чугуна	0	47,80	94,70	141,20	188,0
Снижение расхода скипового кокса за счет улучшения газопроницаемости при введении коксового орешка: – %, (по данным работы [11]) – кг/т чугуна*	0	2,62	3,57	4,21	4,4
	0	12,50	16,90	19,80	20,7
Экономия кокса за счет повышения эффективности грохочения металлургического кокса, кг/т чугуна**	0	4,80	4,70	4,70	4,7
Экономия кокса за счет снижения фракции >80 мм в металлургическом коксе, кг/т чугуна***	0	4,80	4,70	4,70	4,7
Расход скипового кокса и коксового орешка, кг/т чугуна	500	477,90	473,70	470,80	469,9
Экономия, %	–	4,40	5,30	5,80	6,0

В примечании пример расчета экономии кокса приведен для варианта с использованием 40 % коксового орешка: * – $4,4 \cdot 469,9/100 = 20,7$ кг/т чугуна; ** – $0,01 \cdot 469,9/100 = 4,7$ кг/т чугуна; *** – $(10 - 5) \cdot 0,2 \cdot 469,9/100 = 4,7$ кг/т чугуна (0,2 – процент изменения расхода кокса при изменении фракции >80 мм на 1 %).

Данную подготовку кокса к доменной плавке целесообразно осуществить до начала внедрения технологии пылевдувания.

Таким образом, на основании проведенных экспериментов и вычислений показано, что использование коксового орешка в доменной плавке позволит активизировать протекание реакций прямого восстановления оксидов железа за счет использования углерода коксового орешка. Это может способствовать снижению участия в реакциях прямого восстановления углерода скипового кокса. Кроме того, за счет снижения участия кокса в протекании реакций прямого восстановления и Белла-Будуара можно ожидать повышение прочности и средних размеров кусков кокса по высоте печи по сравнению с технологией без применения коксового орешка.

Выводы

Введение в железорудный слой коксового орешка в количестве 30 %, приготовленного из высокорреакционного кокса, позволило повысить степень восстановления железорудного материала с 20 до 31,3 % (на 50 % отн.) по сравнению с применением низкорреакционным коксом.

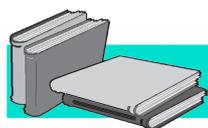
Введение коксового орешка с различной его массовой долей позволило существенно интенсифицировать процесс восстановления оксидов железа. Показано, что повышение расхода коксового орешка с 10 до 20-40 % при нагреве до температуры 1100 °С и выдержке пробы в течение 150 мин способство-

вало повышению степени восстановления с 7,1 до 24,7-40,5 %. Кроме того, соответствующее повышение доли коксового орешка позволило повысить содержание в пробах металлического железа с 0,3 до 2,3-8,9 %.

Повышение расхода коксового орешка в смеси с окатышами от 10 до 20-40 % при температуре восстановления 1000 и 1100 °С позволило повысить среднюю скорость восстановления в 2,7-5,0 раз по сравнению с температурой 900 °С.

Освоение технологии доменной плавки с использованием подготовленного по фракционному составу кокса и применением коксового орешка может обеспечить снижение расхода кокса на 4,4-6,0 %. Такое снижение расхода кокса может быть обеспечено за счет улучшения газопроницаемости столба шихты – на 12,5-20,7 кг/т чугуна, и подготовки кокса к доменной плавке – на 9,6-9,4 кг/т чугуна. Данную подготовку кокса к доменной плавке целесообразно осуществить до начала внедрения технологии пылевдувания.

Введение коксового орешка в железорудную часть шихты в количестве 40 % и более может позволить исключить участие углерода кокса в восстановительных реакциях. Кроме того, за счет снижения участия кокса в протекании реакций прямого восстановления и Белла-Будуара можно ожидать повышение прочностных показателей кокса и его средних размеров кусков по высоте печи по сравнению с технологией без применения коксового орешка.



ЛИТЕРАТУРА

1. Теория и практика подготовки металлургического кокса к доменной плавке / В. Г. Гусак, А. М. Кузнецов, А. В. Емченко и др. – Киев: Наукова думка, 2011. – 216 с.
2. Кузин А. В. Подготовка кокса к доменной плавке на современном этапе развития доменного производства в Украине // Металл и литье Украины. – 2008. – № 7-8. – С. 20-23.
3. Кузин А. В. Основы современной комплексной подготовки кокса к доменной плавке // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Металургія. Випуск 12 (177). – Донецьк: ДонНТУ, 2010. – С. 82-88.

4. Ярошевский С. Л., Хлапонин Н. С. Качество шихты доменных печей, работающих с применением пылеугольного топлива // Труды международной научно-технической конференции «Пылеугольное топливо – альтернатива природному газу при выплавке чугуна», г. Донецк, 18-21 декабря 2006 г. – Донецк: УНИТЕХ, 2006. – С. 59-64.
5. Разработка режима загрузки и опыт применения мелкофракционного кокса в мощной доменной печи / В. А. Доброскок, Ю. В. Липухин, И. Ф. Курунов и др. // Сталь. – 1998. – № 8. – С. 7-13.
6. Оценка влияния на доменную плавку кокса фракции менее 40 мм / Н. П. Сысоев, С. К. Сибатуллин, В. К. Кропотов и др. // Труды V-го международного конгресса доменщиков «Производство чугуна на рубеже столетий», Днепропетровск–Кривой Рог, 7-12 июня, 1999 г. – Днепропетровск: Пороги, 1999 – С. 216-218.
7. Работа доменных печей с использованием кокса мелких фракций / Л. Д. Никитин, М. Ф. Марьясов, В. П. Горбачёв и др. // Металлург. – 1999. – № 1.– С. 38-39.
8. Теоретические и экспериментальные основы подготовки кокса к доменной плавке / А. Л. Подкорытов, А. М. Кузнецов, Е. Н. Дымченко и др. // Там же. – 2009. – № 6. – С. 34-37.
9. Технология и эффективность подготовки кокса к доменной плавке / А. Л. Подкорытов, А. М. Кузнецов, Е. Н. Дымченко и др. // Там же. – 2009. – № 8. – С. 32-37.
10. Исследование процесса получения и эффективности применения коксового орешка в доменной плавке / Д. В. Горин, А. В. Храпко, А. В. Кузин, Н. В. Голухин // Металлургические процессы и оборудование. – 2011. – № 3.– С. 10-16.
11. Производство и использование коксового орешка в доменной плавке / С. Л. Ярошевский, Н. С. Хлапонин, А. М. Кузнецов, А. В. Кузин. – Донецк: УНИТЕХ, 2006. – 68 с.
12. Low Coke Rate Operation of Blast Furnace by Controlling Size of Coke Mixed Into Ore Layer / S. Muneyoshi, M. Kazuya, N. Kentaro et al. // The 5th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking (ICSTI' 2009). Shanghai (China), November 19-23, 2009 – Shanghai, 2009. – P. 663-667.
13. Тлеугабулов С. М. Диссоциационно-адсорбционный механизм и кинетика твердофазного восстановления железа углеродом // Сталь. – 1991. – № 1. – С. 15-18.
14. Восстановление агломерата и окатышей в смеси с коксовым орешком / Э. Моуса, А. Бабич, Д. Сенк, Х. В. Гуденау // Бюллетень «Черная металлургия». – 2010. – № 10. – С. 34-45.
15. Mousa E., Senk D., A. Babich A. Reduction of Pellets-Nut Coke Mixture under Simulating Blast Furnace Conditions // Steel research international. – 2010. – V. 81. – № 9. – P. 706-715.

Анотація

Кузін А. В.

Вплив введення твердого відновника в залізорудний шар на відновлення оксидів заліза

Показано, що введення коксового горішку з різною його часткою в залізорудний шар дозволяє істотно інтенсифікувати процес відновлення оксидів заліза. Використання коксового горішку в доменній плавці може дозволити знизити участь вуглецю скіпового коксу у процесі прямого відновлення оксидів заліза, що може забезпечити зменшення втрат вуглецю коксу й підвищення середнього розміру шматків коксу по висоті доменної печі.

Ключові слова

коковий горішок, металургійний кокс, скіповий кокс, ступінь відновлення, фракція, газифікація

Summary

Kuzin A. V.

Impact of the introduction of solid reducing agent in an iron layer on iron oxide recovery

It is shown that the introduction of coke nut in different amounts allows to intensify significantly the process of iron oxides recovery. The use of coke nut in the blast furnace melting allows to reduce participation of skip coke in the process of direct recovery of iron oxides of carbon. It ensures reduction of carbon loss in coke and increase of coke average size in blast furnace.

Keywords

coke nut, metallurgical coke, skip coke, degree of recovery, fraction, gasification

Поступила 30.10.12