

А.В. Кузин /к.н.т./, Н.С. Хлапонин /к.т.н./
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

ОЦЕНКА ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТИ РУДНОЙ ЧАСТИ ШИХТЫ ПРИ ВВЕДЕНИИ В НЕЕ КОКСОВОГО ОРЕШКА

Предложена усовершенствованная методика для оценки газопроницаемости рудной части шихты в доменной печи при введении в нее коксового орешка. Отличительной особенностью усовершенствованной методики является учет участия углерода коксового орешка в прямом восстановлении FeO. Показано, что газопроницаемость слоя смеси с учетом данного фактора будет ниже по сравнению с ранее полученными результатами.

Ключевые слова: *скиповый кокс, коксовый орешек, газопроницаемость, прямое восстановление.*

Постановка проблемы

Как известно, доменная печь является агрегатом шахтного типа, работа которого немыслима без газодинамического процесса. Для улучшения газопроницаемости коксовой линзы перед загрузкой в печь кокс подвергается обязательному грохочению с выделением из него фракции менее 25...40 мм. Однако самым труднопроницаемым для газа материалом является железорудное сырье, что обуславливает принятие определенных решений для повышения ее газопроницаемости. Одним из возможных путей решения данной задачи является загрузка в доменную печь железорудного материала в смеси с коксовым орешком [1...3].

Анализ последних исследований и публикаций

В настоящее время, в связи с увеличением расхода дополнительных видов топлива в доменную печь, роль кокса для обеспечения газопроницаемости столба шихты по высоте печи стала еще более значимой. В работах [4,5] показано, что использование в доменной печи скипового кокса фракции 40...60 и 60...80 мм является наиболее предпочтительным, поскольку такой кокс (по сравнению с коксом меньших размеров) может обеспечить хороший дренаж в горне и более лучшие показатели работы доменной печи. Проведенные экспериментальные плавки на доменных печах в ФРГ подтвердили, что для доменной печи целесообразно загружать кокс с небольшой долей класса больше 80 мм и меньше 40 мм при относительно большем среднем размере кусков кокса [6,7]. Особенно жестче требование по фракционному составу скипового кокса стало в свете масштабного освоения технологии вдувания пылеугольного топлива (ПУТ) в количестве более 150 кг/т чугуна: для улучшения

дренажа горна среднее значение кусков кокса должно быть увеличено, а поступление в доменную печь фракции 25...40 мм со скиповым коксом снижено до 10 % [8]. Для достижения поставленной задачи фракцию более 80 мм выделяют из металлургического кокса с последующим ее додраблыванием, а в доменном цехе на нижних ситах коксового грохота устанавливают сита с размерами ячеек, как правило, 25...35 мм, реже до 40 мм [9].

Однако решение задачи по повышению среднего размера скипового кокса неизбежно приводит к увеличению отсева кокса и снижению степени использования металлургического кокса в доменной печи. Одним из вариантов решения данной задачи является выделение из отсева кокса фракции крупнее 10 (15) мм (т.н. коксовый орешек) и использование его в смеси с железорудной частью шихты. Данное обстоятельство обеспечивает не только максимальное использование металлургического кокса в доменной печи, но и повышение газопроницаемости железорудной части шихты. В работах [1,2] была предложена методика аналитической оценки газопроницаемости железорудной части шихты при введении в нее коксового орешка различной крупности.

По данным промышленных исследований, при обычной загрузке скипового кокса в самом низу шахты печи, т.е. на границе с распаром, общая степень восстановления окислов железа составляет 60...80 % [10]. В доменной печи восстановление Fe_2O_3 , Fe_3O_4 и части FeO успевает завершиться непрямым путем за время опускания шихты от колошника до зон с температурами 950...1000 °С, где развивается прямое восстановление [11]. В печи прямое восстановление имеет место при условии протекания реакции $CO_2 + C \rightarrow 2CO$, для чего в доменной печи необхо-

дима температура в основном выше 900...950 °С. По литературным данным температура выше 900 °С в шахте печи достигается в нижней ее части: это около 54 % от высоты шахты и части высоты колошника [11].

В технической литературе нет достаточных данных о доле участия углерода кокса и углерода коксового орешка в прямом восстановлении FeO. Лишь по редким публикациям можно качественно судить об этом показателе в нижней части шахты доменной печи. Так, по данным работы доменной печи № 3 Kakogawa (Kobe Steel, Япония) показано, что при замене части скипового кокса коксовым орешком фракции 8...20 мм, вводимым в железорудную часть в количестве около 10 % (расход кокса 312 кг/т чугуна, коксового орешка – 30 кг/т чугуна), средний диаметр кусков кокса на периферии по высоте печи от колошника до распара (т.е. примерно соответствует температуре 1000...1200 °С) уменьшился всего на 1 мм [12]. Это свидетельствует о том, что куски кокса в данном случае в прямом восстановлении оксидов железа принимают участие в меньшей мере, чем мелкие куски коксового орешка. Следовательно, логично предположить, что введение коксового орешка в железорудную часть шихты способствует снижению участия углерода кокса в реакции прямого восстановления FeO.

Ранее разработанная методика позволяет оценить изменение газопроницаемости столба шихты в «сухой» зоне доменной печи при смешивании коксового орешка с железорудным компонентом без учета участия углерода на прямое восстановление [1,2]. Ввиду возросшего интереса к данному вопросу была выполнена попытка оценки газопроницаемости железорудного компонента доменной шихты при введении в него коксового орешка с учетом участия углерода коксового орешка в прямом восстановлении.

Цель (задачи) исследования

Целью работы является оценка изменения газопроницаемости рудного слоя при введении в него коксового орешка с учетом протекания реакции прямого восстановления.

Основной материал исследования

Для оценки сопротивления рудного слоя газовому потоку при введении в него коксового орешка за основу была принята методика, опубликованная в работах [1,2]. Отличительной особенностью усовершенствованной методики от ранее предложенной является учет участия углерода коксового орешка в прямом восстановлении FeO.

В нижней части шахты доменной печи процесс прямого восстановления оксида железа может идти как за счет углерода кокса, так и за счет углерода коксового орешка.

Расчет показывает, что отношение удельной поверхности 100 кг кусков коксового орешка (средний диаметр от 15 до 25 мм) к удельной поверхности 100 кг кусков кокса (средний диаметр от 50 до 60 мм) будет находиться в диапазоне от 2 до 4. Это обстоятельство и лучший контакт железорудной шихты с коксовым орешком будет обеспечивать более быстрое реагирование углерода коксового орешка с оксидами железа и в итоге некоторое увеличение степени прямого восстановления в нижней части шахты печи.

Для качественной оценки изменения степени прямого восстановления были выполнены расчеты материально-теплового баланса фактической работы доменной плавки с различным расходом коксового орешка для условий доменной печи № 3 ArcelorMittal Bremen (Германия). Расчеты показали, что при практически постоянном суммарном расходе восстановителей на 1 т чугуна повышение расхода коксового орешка с 44 до 169 кг/т чугуна (с 11,4 до 55,5 %) способствует повышению степени прямого восстановления с 31,8 до 40,1 % (26,1 % отн.).

Ранее лабораторными опытами было показано [13], что при слоевой загрузке кокса и окатышей при введении 30 % коксового орешка в железорудный материал (температура восстановления 1000 °С, время выдержки пробы при достижении заданной температуры 150 минут) степень восстановления возрастала с 30,4 до 41,7 % (37,2 % отн.).

Сопоставление результатов промышленного и лабораторного исследований дает основание утверждать, что увеличение доли коксового орешка при прочих равных условиях будет способствовать увеличению степени прямого восстановления.

В температурных зонах 900...1000 °С и выше, коксовый орешек улучшает газопроницаемость смеси «рудный компонент – коксовый орешек» лишь в том случае, если имеется остаток коксового орешка после его участия в прямом восстановлении FeO. Участие коксового орешка в прямом восстановлении FeO приводит к уменьшению его массы и, как следствие, снижению его разрыхляющего воздействия.

Как было показано ранее [1,2], для оценки изменения перепада давления газа в рудной части без учета расходования углерода коксового орешка на прямое восстановление использовали выражение, %:

$$\Delta P_{\text{без учёта восп}} = \frac{\Delta P_{\text{смесь}}}{\Delta P_{\text{агл}}} \cdot W_{\text{агл}}, \quad (1)$$

а уменьшение сопротивления проходу газов в слое кокса считаем пропорционально уменьшению расхода кокса, %:

$$\Delta P_{\text{кокс}} = W_{\text{кокс}} \cdot \left(1 - \frac{Q_{\text{кокс}} - Q_{\text{орешек}}}{Q_{\text{кокс}}} \right), \quad (2)$$

где $\Delta P_{\text{агл}}$, $\Delta P_{\text{смесь}}$ – изменение перепада давления газа в слое агломерата и в смеси коксового орешка с агломератом, %; $W_{\text{агл}}$, $W_{\text{кокс}}$ – долевое влияние агломерата и кокса соответственно в сопротивлении проходу газа в слое, %; $Q_{\text{кокс}}$ и $Q_{\text{орешек}}$ – расход кокса и коксового орешка в подачу, кг/подачу.

Тогда общее снижение перепада в подаче можно оценить путем сложения значений формул (1) и (2).

При учете участия углерода коксового орешка в прямом восстановлении формулу (1) предлагается преобразовать. Есть два возможных варианта оценки изменения перепада давления газа в рудной части шихты при введении коксового орешка:

– фактический расход коксового орешка ниже необходимого количества для участия в прямом восстановлении;

– фактический расход коксового орешка выше необходимого количества для участия в прямом восстановлении.

При условии фактического расхода коксового орешка ниже необходимого для участия в прямом восстановлении изменение перепада давления газа предлагается оценить по формуле, %:

$$\Delta P_{\text{с учётом восп}} = 0,46 \cdot \Delta P_{\text{без учёта восп}} \cdot 1,1, \quad (3)$$

где 0,46 – коэффициент учета неизменного состояния (неучастия в прямом восстановлении) орешка на участке от уровня засыпи шихты до распара; 1,1 – коэффициент учета остаточного разрыхляющего действия орешка в нижней части шахты (при температурах 900...1000 °С).

При условии фактического расхода коксового орешка выше необходимого для участия в прямом восстановлении изменение перепада давления газа предлагается оценить по формуле, %:

$$\Delta P_{\text{с учётом восп}} = 0,46 \cdot \Delta P_{\text{без учёта восп}} + 0,54 \cdot \left(\frac{Q_{\text{КО факт}} - Q_{\text{КО необ}}}{Q_{\text{КО факт}}} \right) \cdot \Delta P_{\text{без учёта восп}}, \quad (4)$$

где 0,54 – доля высоты от уровня засыпи шихты до распара печи, где происходит прямое восстановление FeO (температура 900...1000 °С); $Q_{\text{КО факт}}$ и $Q_{\text{КО необ}}$ – фактический и необходимый расход коксового орешка для прямого восстановления FeO в нижней части шахты по всей высоте слоя шихты до распара, кг/подачу.

Для определения изменения перепада давления газа в рудном слое и в слое подачи необходимо определить фактический и необходимый расход коксового орешка для прямого восстановления FeO в нижней части шахты по всей высоте слоя шихты до распара.

Определяем массу кислорода, вносимого оксидами железа всех железорудных материалов.

Далее оцениваем количество кислорода, связанного с оксидами железа, на уровне распара по формуле, кг/подачу:

$$O_{\text{распар}} = O_{\text{приход}} \cdot (1 - B), \quad (5)$$

где B – вероятное изменение общей степени восстановления оксидов железа при введении коксового орешка, доля единицы.

Считаем, что оставшийся кислород в распаре будет находиться в виде FeO, следовательно, кг/подачу:

$$FeO_{\text{распар}} = \frac{72}{16} \cdot O_{\text{распар}}, \quad (6)$$

В распаре, заплечиках и горне (температура 1000...1500 °С) масса восстановленного железа из FeO прямым путем составит, кг/подачу:

$$Fe_{\text{прям II зона}} = \frac{56}{72} \cdot FeO_{\text{распар}} \cdot r_d, \quad (7)$$

где r_d – степень прямого восстановления оксидов железа с учетом введения коксового орешка в железорудную часть шихты, доля единицы.

Следовательно, до распара (температура 900...1000 °С) прямым путем восстанавливается Fe, кг/подачу:

$$Fe_{\text{прям III зона}} = Fe_{\text{прям}} - Fe_{\text{прям II зона}}, \quad (8)$$

где $Fe_{\text{прям}}$ – общее количество железа, восстановленного в доменной печи за счет прямого восстановления, кг/подачу.

Масса FeO, восстанавливаемого прямым путем в нижней части шахты (температура 900...1000 °С), составит, кг/подачу:

$$FeO_{\text{прям III зона}} = \frac{72}{56} \cdot Fe_{\text{прям III зона}} \quad (9)$$

Масса FeO, восстанавливаемая прямым путем в нижней части шахты углеродом коксового орешка, составит, кг/подачу:

$$FeO_{\text{прям III зона KO}} = FeO_{\text{прям III зона}} \cdot R, \quad (10)$$

где R – вероятная доля участия коксового орешка в прямом восстановлении в диапазоне температур 900...1000 °С, доля единицы.

Масса коксового орешка, необходимая для прямого восстановления FeO в нижней части шахты печи составит, кг/подачу:

$$Q_{KO\text{ необх}} = \frac{12}{72} \cdot \frac{FeO_{\text{прям III зона KO}}}{C_{KO}}, \quad (11)$$

где C_{KO} – содержание углерода в коксовом орешке, доля единицы.

При фактическом расходе коксового орешка ниже необходимого расчет изменения перепада давления газа в рудном слое оценивается по формуле (3), иначе – по формуле (4).

По предложенной методике было оценено влияние коксового орешка на газопроницаемость столба шихты доменной печи в «сухой» зоне с учетом участия углерода коксового орешка в прямом восстановлении FeO, т.е. с учетом расходования коксового орешка на прямое восстановление.

В качестве исходных данных принята работа доменной печи № 3 Филиала № 2 Енакиевский металлургический завод ЗАО «Внешсервисторг» объемом 1719 м³ (площадь колошника 37,4 м², высота шахты 17,8 м; полезная высота 28,5 м; высота колошника, заполненного материалами, 1,2 м); основность доменного шлака CaO/SiO₂=1,15; железорудная часть шихты – агломерат и окатыши; пылеугольное топливо не применялось; базовый состав доменной шихты примерно соответствует шихте в период работы печи в мае-июне 2012 г. с фактической производительностью 2829 т/сутки. Приход железа, FeO и Fe₂O₃ со всеми шихтовыми материалами составил соответ-

ственно 15662, 2555 и 19536 кг/подачу.

Общее количество кислорода, поступающее в доменную печь с оксидами железа, составило 6429 кг/подачу. В расчете принято, что коксовый орешек загружается в каждую подачу в агломерат. Для оценки изменения газопроницаемости слоя шихты в «сухой» зоне принимали средний размер агломерата равным 25 мм, а коксового орешка – 21,5 мм.

В расчетах приняты следующие допущения:

– увеличение коксового орешка на каждые 5 % будет способствовать повышению степени прямого восстановления оксидов железа на 6 % (отн.) [13];

– значение общей степени восстановления (непрямое + прямое) оксидов железа на границе «низ шахты – распар» на каждые 5 % вводимого коксового орешка возрастает на 0,5 % (абс.).

С учетом формул (1) и (2) оценили перепад давления газа в рудном слое и подаче без учета участия углерода коксового орешка в реакциях прямого восстановления оксидов железа. Результаты расчета приведены в табл. 1.

Ниже представлены результаты расчета по оценке перепада давления газа с учетом участия углерода коксового орешка в реакциях прямого восстановления оксидов железа. Тогда с учетом введения коксового орешка оценим показатели, рассчитанные по формулам (5)...(11) (табл. 2).

Оценим перепад давления газа в рудной части и в подаче с учетом расхода коксового орешка по формулам (3) или (4) (табл. 3).

На рис. 1 приведено изменение перепада давления газа с учетом и без учета расходования углерода коксового орешка в реакциях прямого восстановления оксидов железа. Как видно, линия изменения перепада давления газа при учете расходования углерода коксового орешка располагается ниже, чем без учета расходования углерода коксового орешка на прямое восстановление. Анализ также показывает, что при введении коксового орешка в железорудный слой в количестве 10...35 % от суммарного расхода загружаемого топлива разница перепада давления газа без учета и с учетом участия углерода коксового орешка в прямом восстановлении составляет 5...7,5 % (абс.).

Табл. 1. Оценка перепада давления газа в рудном слое и подаче без учета участия углерода коксового орешка в реакциях прямого восстановления

Показатели	Расход коксового орешка, %				
	0	5	10	20	30
Снижение перепада давления в рудном слое, %	0,0	11,9	19,5	28,2	32,7
Снижение перепада давления в коксовой линзе, %	0,0	0,8	1,6	3,1	4,7
Снижение перепада давления в подаче, %	0,0	12,7	21,1	31,3	37,4

Табл. 2. Оценка показателей, участвующих в определении перепада давления газа, с учетом участия углерода коксового орешка в реакциях прямого восстановления

Показатели	Расход коксового орешка, %				
	0	5	10	20	30
Количество кислорода, уходящее с газом до распара, кг/подачу	4500	4532	4565	4629	4693
Количество FeO, поступившее в нижнюю часть печи, кг/подачу	8681	8537	8388	8100	7812
Общее количество железа, восстановленное прямым путем из FeO, кг/подачу	6752	6640	6524	6300	6076
Количество железа, восстановленное прямым путем до распара, кг/подачу	3124	3339	3557	4003	4462
Количество FeO, восстановленное прямым путем в нижней части шахты углеродом коксового орешка, кг/подачу	4017	4078	4116	4118	4016
Масса коксового орешка, необходимая для прямого восстановления FeO в нижней части (до распара), кг/подачу	773	784	791	791	771

Табл. 3. Оценка перепада давления газа в рудном слое и подаче с учетом участия углерода коксового орешка в реакциях прямого восстановления

Показатели	Расход коксового орешка, %				
	0	5	10	20	30
Снижение перепада давления в рудном слое, %	0,0	6,0	12,0	21,5	27,7
Снижение перепада давления в коксовой линзе, %	0,0	0,8	1,6	3,1	4,7
Снижение перепада давления в подаче, %	0,0	6,8	13,6	24,6	32,4

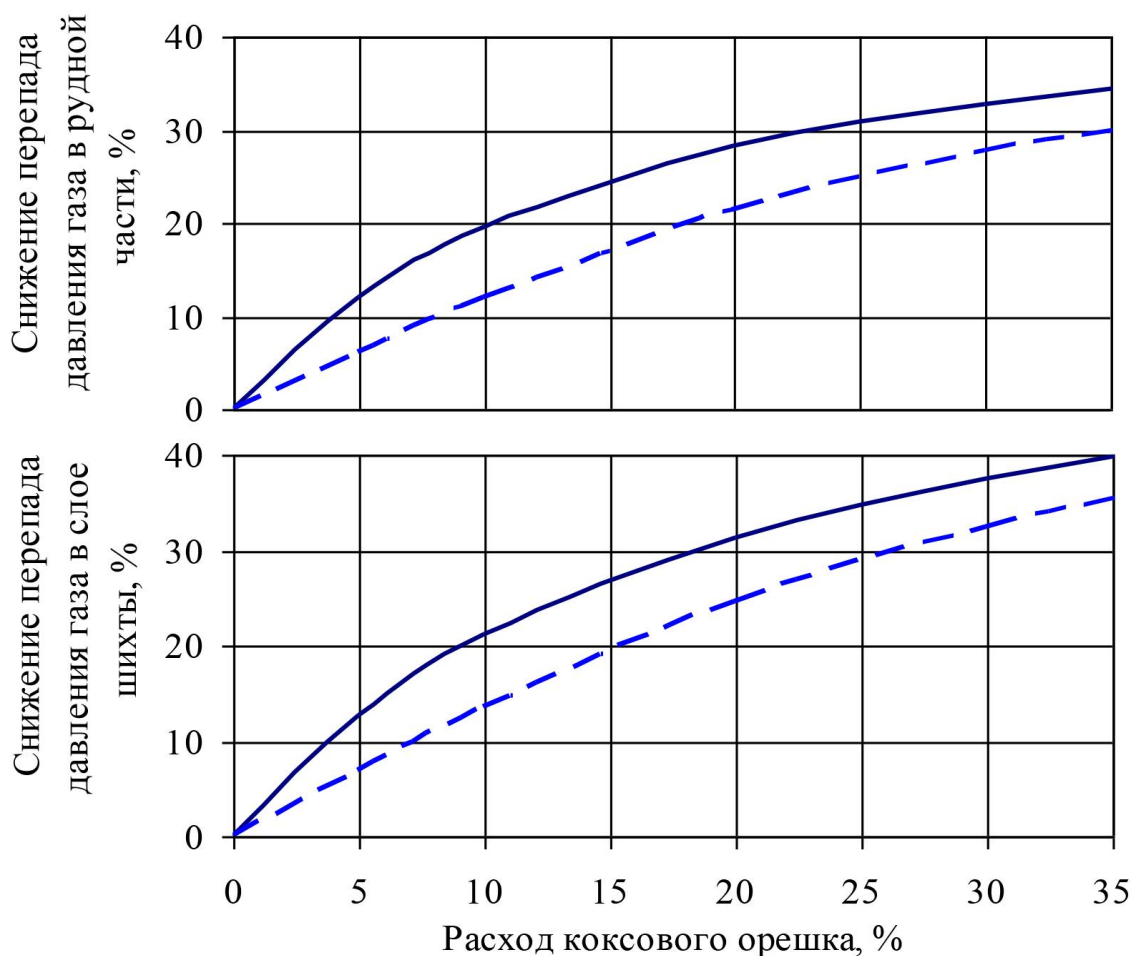


Рис. 1. Влияние введения коксового орешка в железорудный слой на изменение перепада давления газа без учета – сплошная линия, и с учетом – прерывистая линия, участия углерода коксового орешка в прямом восстановлении

Выводы

По литературным и экспериментальным данным определено, что в доменной печи коксовый орешек, загружаемый в рудную часть шихты, в значительной мере расходуется на прямое восстановление оксидов железа, т.е. часть коксового орешка не участвует в улучшении газопроницаемости железорудного слоя.

Разработана методика для аналитического исследования влияния газопроницаемости рудной части шихты при введении в нее коксового орешка с учетом протекания реакций прямого восстановления.

Показано, что с учетом расходования углерода коксового орешка на прямое восстановление перепад давления газа в рудном слое шихты меньше на 5...7,5 % (абс.) по сравнению с перепадом давления газа в рудном слое шихты без учета участия углерода в реакциях прямого восстановления.

Список литературы

1. Efficiency of Using Coke Fractions Smaller than 40 mm in a Blast Furnace / S.L. Yaroshevskii [et al.] // Metallurgist. – 2000. – Iss.11-12. – Vol.44. – P. 598-605.
2. Теория и практика подготовки металлургического кокса к доменной плавке / В.Г. Гусак [и др.]. – Киев: Наукова думка, 2011. – 216 с.
3. Sibagatullin, S.K. The rational mode of nut coke charging into the blast furnace by compact trough-type charging device / S.K. Sibagatullin, A.S. Kharchenko, G.N. Logachev // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2016. – Iss.1-4. – Vol.86. – P. 531-537.
4. Остроухов, М.Я. Доменным печам – крупнокусковую и прочную шихту // Металлург. – 1967. – №4. – С. 10-11.
5. О влиянии на ход доменной печи изменения фракции кокса / И.И. Сагайдак [и др.] // Металлург. – 1968. – №7 – С. 5-7.
6. Тайхерт, Э. Влияние различной крупности кокса на режим работы доменной печи с горном диаметром 7,8 м / Э. Тайхерт, В.Н. Гупта // Черные металлы. – 1976. – №14-15. – С. 19-23.
7. Опыты по применению кокса различной крупности в доменных печах / В. Айзенхут [и др.] // Черные металлы. – 1979. – №2. – С. 25-30.
8. Влияние качества кокса и шихты на производительность доменной печи / Л. Бонте [и др.] // Черные металлы. – 2005. – №11. – С. 22-28.
9. Кузин, А.В. Опыт подготовки кокса к доменной плавке. Часть 1 / А.В. Кузин, Н.С. Хлапонин // Металлург. – 2019. – №1. – С. 10-16.
10. Буклан, И.З. Исследование процесса восстановления железорудных материалов в промышленной доменной печи: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.16.02 / Буклан Илья Зиновьевич. – Днепропетровск, 1971. – 28 с.
11. Ефименко, Г.Г. Металлургия чугуна / Г.Г. Ефименко, А.А. Гиммельфарб, В.Е. Левченко. – Киев: Вища школа, 1974. – 488 с.
12. Low Coke Rate Operation of Blast Furnace by Controlling Size of Coke Mixed Into Ore Layer / S. Muneyoshi [et al.] // Proceedings 5th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking, 20-22.10.2009, Shanghai (China). – Shanghai: [б.и.], 2009. – P. 663-667.
13. Kuzin, A.V. Effect of Introducing Different Sizes of Nut Coke Into the Ore Layer on the Degree of Reduction of Iron Oxides // Metallurgist. – 2014. – Iss.9-10. – Vol.57. – P. 783-791.

A.V. Kuzin /Cand. Sci. (Eng.)/, N.S. Khlaponin /Cand. Sci. (Eng.)/
Donetsk National Technical University (Donetsk)

EVALUATION OF GAS PERMEABILITY OF THE ORE BURDEN WITH THE INTRODUCTION OF NUT COKE

Background. As is known, the blast furnace is a mine-type unit, the operation of which is unthinkable without a gas-dynamic process. To improve the gas permeability of the coke oven lens before loading into the furnace, coke is subjected to mandatory screening with the release of a fraction of less than 25...40 mm. However, the most difficult-to-penetrate material for gas is iron ore, which causes the adoption of certain solutions to increase its gas permeability. One of the possible ways to solve this problem is to load iron ore materials mixed with a coke nut into the blast furnace.

Materials and/or methods. To assess the resistance of the gas flow when injected into the iron ore layer of the coke nut, a technique developed earlier was used. The analysis shows that the participation of coke nut carbon in direct reduction reactions will help to reduce the size and, as a consequence, reduce its loosening effect in the ore part. In this regard, the method of gas permeability assessment with the introduction of a coke nut improved. A distinctive feature of the improved technique

from the previously developed one is the accounting of the participation of the nut coke in the direct recovery of FeO.

Results. The change in the pressure drop of the gas in the iron ore layer with the introduction of a coke nut into it, taking into account and without taking into account the consumption of carbon of the coke nut in the reactions of direct reduction of iron oxides, estimated. Shown that the pressure drop in the mixture layer when taking into account the consumption of the coke nut will be less than without taking into account the consumption of the coke nut: with the introduction of the coke nut into the iron ore layer in the amount of 10..35% of the total consumption of the loaded fuel, the difference in the pressure of the gas without and taking into account the participation of the carbon of the coke nut in the direct formation will be 5...7.5 % (abs.).

Conclusion. A technique developed for the analytical study of the effect of gas permeability of the ore burden with the introduction of coke nut with consideration of reactions of direct reduction. Shown that taking into account expenditure of coke nut carbon on direct reduction the pressure drop of the gas in the layer of the charge is less than 5...7.5 % (abs.) in comparison with the gas pressure drop in the charge layer without taking into account the participation of carbon in direct reduction reactions.

Keywords: skip coke, coke nut, gas permeability, direct reduction.

Сведения об авторах

А.В. Кузин

SPIN-код: 4470-0976
 Author ID: 7102276525
 Researcher ID: P-8105-2015
 ORCID iD: 0000-0002-5369-433
 Телефон: +380 (62) 301-08-42
 Эл. почта: yarosh@fizmet.donntu.org

Н.С. Хлапонин

SPIN-код: 8570-2203
 Author ID: 6507940511
 Телефон: +380 (62) 301-08-42

Статья поступила 26.02.2019 г.
 © А.В. Кузин, Н.С. Хлапонин, 2019
 Рецензент д.т.н., доц. Н.И. Захаров

ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПРОЕКТ

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ




metal.donntu.org