

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОКСА МЕЛКИХ ФРАКЦИЙ В ДОМЕННОЙ ПЛАВКЕ

А.В. Кузин, С.Л. Ярошевский, Н.С. Хлапонин  
Донецкий национальный технический университет

*Аналітичним шляхом показано, що при введенні коксового горішку фракцією від 10 до 40 мм у кількості від 10 до 20 % в залізорудному шару знижується перепад тиску на 9,5-12,5 % і збільшується продуктивність доменної печі на 2,2-2,75 %. При модельному дослідженні отримані аналогічні значення. Крім того, коксовий горішок є одним із компенсуючих заходів для збільшення витрат пиловугільного палива.*

Известно, что наиболее эффективной для доменных печей среднего и большого объёма является фракция кокса 40-60 мм (40-80 мм), применение которой обеспечивает выход на максимальную производительность [1].

При применении для доменных печей среднего и большого объёма кокса фракцией 40-80 мм встал вопрос о наиболее рациональном использовании отсева кокса крупностью до 30-40 мм. Как один из вариантов решения задачи в последнее время нашло широкое применение технология доменной плавки с введением в шихту в качестве топлива коксового орешка. В странах СНГ имеется опыт использования кокса мелких фракций, но данная технология пока не получила массового промышленного применения [2, 3].

Однако, до настоящего времени для оценки влияния загрузки коксового орешка в смеси с железорудной шихтой не была разработана методика расчета изменения газопроницаемости слоя смеси железорудного материала и коксового орешка и влияние на расхода кокса и производительность в зависимости от изменения перепада давления в верхней части шахты доменной печи.

При увеличении верхнего предела отсева мелочи из кокса (до 30-40 мм) и введение коксового орешка фракции 10-40 мм в железорудную часть доменной шихты следует ожидать: 1) повышение однородности фракционного состава скипового кокса при одновременном уменьшении содержания в нём мелочи; 2) повышение порозности смеси при уменьшении её насыпной массы. Всё это обеспечит снижение сопротивления слоя кокса и слоя шихтовых материалов.

Детально методика расчета изменения газопроницаемости слоя смеси железорудного материала и коксового орешка и влияние на

производительность перепада давления в верхней части шахты доменной печи изложена ранее [4]. На рис. 1 представлен результат аналитической оценки изменения сопротивления шихты при изменении расхода коксового орешка от 0 до 50 % от исходного расхода кокса. Расчеты показали, что орешек фракции 5-15 мм оказывает существенно меньшее влияние на газопроницаемость рудной линзы по сравнению с другими фракциями. Коксовый орешек фракций 10-20 и 30-40 мм влияет на газопроницаемость рудной линзы практически одинаково. Особенно существенно влияние введения первых 10-20 % орешка (по отношению к расходу кокса), определяющих снижение газопроницаемости рудной линзы шихты от 9-10 до 11,5-12,5 %. Дальнейшее увеличение расхода коксового орешка практически не сказывается на газопроницаемости рудной линзы.

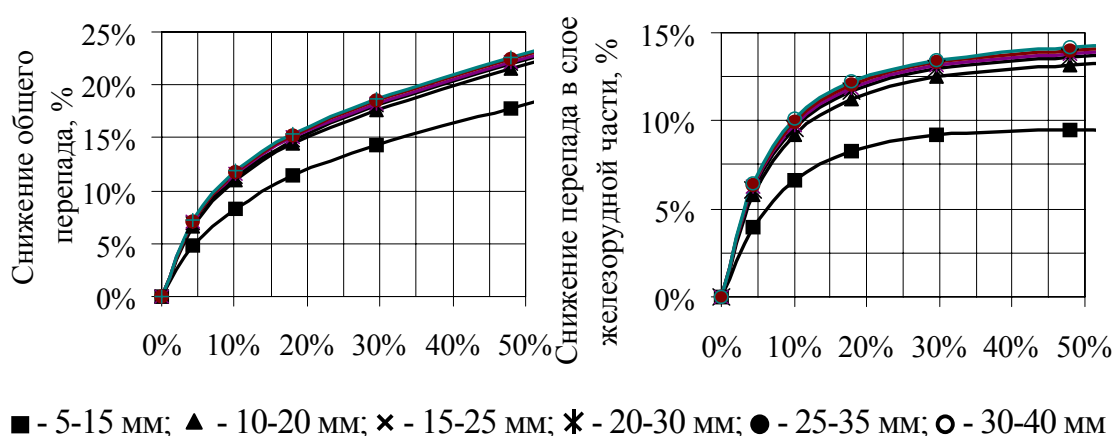


Рис. 1. Зависимость газопроницаемости доменной шихты от вида и количества введенного в ее состав коксового орешка

Известно, что:

$$\frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} \approx \frac{w_1^2}{w_2^2} \approx \frac{\Delta \Pi_1}{\Delta \Pi_2} \quad (1)$$

где  $\Delta P$ ,  $w$  и  $\Pi$  - соответственно перепад давления, скорость газа в шахте печи и резерв производительности печи по газопроницаемости.

Отсюда следует, что при доле орешка 10 и 20 % (рис. 1) и его крупности от 10 до 40 мм резерв по дутью (производительности печи) в зоне кусковых шихтовых материалов печи составит 4,4-5,5 % соответственно. Кусковые шихтовые материалы занимают около 50 % печи по высоте, поэтому приняли, что общее увеличение производительности печи в результате введения в железорудную часть шихты коксового орешка составит 2,2-2,75 %.

Для подтверждения аналитического влияния загрузки коксового орешка в слой агломерата были проведены исследования газопроницаемости на модели, размер которой составил 1/35 от натуральной величины «сухой» зоны доменной печи – область кусковых материалов (т.е. колошник и шахта) – объемом 1033 м<sup>3</sup> ( $d=0,2$  м;  $H=0,5$  м).

Перепад давления в слое шихты измеряли на всю высоту загружаемого материала.

В качестве источника воздуха использовали воздуходувку производительностью около 100 м<sup>3</sup>/ч или 0,0178 м<sup>3</sup>/сек. Для определения расхода воздуха использовали трубку Пито. Динамический напор ( $P_{дин}$ ) и перепад давления по высоте слоя шихты определяли микроманометром ММН-240. Расход воздуха, проходящий через шихту, рассчитывали по формуле [5]:

$$Q = 3600 \cdot A \cdot F \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot P_{дин} \cdot g \cdot K_{ПИТО}}{\gamma}}, \text{ м}^3/\text{час} \quad (2)$$

где  $A$  - коэффициент, учитывающий неравномерность распределения скоростей по сечению трубопровода;  
 $F$  - площадь сечения трубопровода, м<sup>2</sup>;  
 $P_{дин}$  - динамический напор, мм. вод. столба;  
 $g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  
 $\gamma$  - удельный вес воздуха при определенной температуре кг/м<sup>3</sup>.  
 $K_{ПИТО}$  - коэффициент трубки Пито.

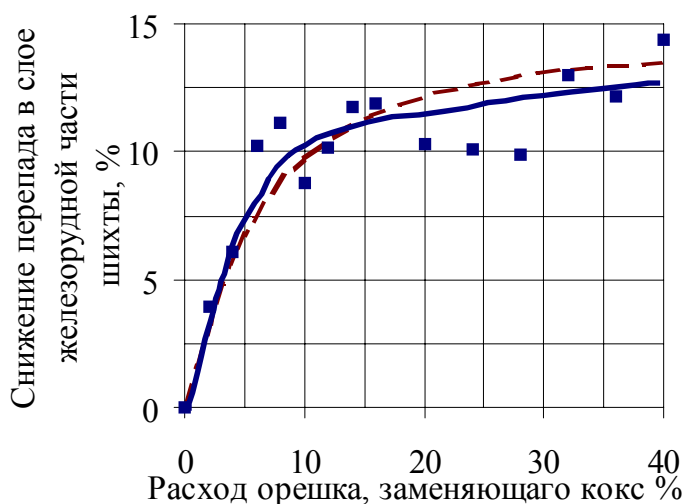
В качестве железорудного материала в модели использовался агломерат фракцией 3-5 мм (75 % по весу) и 1-2 мм (25 % по весу). В качестве коксового орешка использовали коксик фракцией 3-5 мм. Коксовый орешек в количестве от 0 до 40 % от базового расхода кокса предварительно смешивали с агломератом. В расчетах принимали, что коэффициент замены кокса коксовым орешком равен 1.

Физическое и геометрическое моделирование влияние коксового орешка на газопроницаемость шихты выполнено в автотомодельной области исходя из расчета критерия Эйлера ( $Eu$ ) и Рейнольдс ( $Re$ ).

Для расчета критерия  $Re$  в «сухой» зоне доменной печи при определении количества и состава газа исходили из условий: давление по высоте «сухой» зоны доменной печи изменяется прямолинейно; сумма  $CO+CO_2$  по высоте доменной печи не изменяется; содержание  $CO_2$  в нижней части шахты составляет 4 %; температура в нижней части шахты соответствует началу размягчения агломерата 1150 °С.

По результатам экспериментов на модели было определено изменение перепада в агломерационном слое при введении коксового орешка на всю высоту.

По полученным результатам построен график, в котором учтено соответствующее увеличение объема и высоты рудной линзы при введении в неё коксового орешка. На нём же приведена аналитическая зависимость изменения перепада давления в слое смеси коксового орешка и агломерата (рис. 2). При сопоставлении аналитической и экспериментальной зависимостей перепада давления от доли коксового орешка в агломерате



■ - экспериментальная зависимость;  
 - - - аналитическая зависимость (рис 1);  
 Рис. 2. Зависимость влияния расхода коксового орешка на перепад в железорудном слое

следует отметить, что они достаточно близки как по характеру, так и абсолютным значениям.

Подтверждается, что особенно эффективно введение коксового орешка в количестве не менее 10 % от расхода кокса, что обеспечит снижение перепада в слое смеси агломерата и коксового орешка на  $\approx 10\%$ .

Коксовый орешек за рубежом стали интенсивно внедрять одновременно с расширением применения пылеугольного топлива (ПУТ). Так, «...в настоящее время общей практикой для стран

Европейского союза является использование в доменной шихте также более мелкого кокса, в виде класса 10-35 мм в количестве до 100 кг/т чугуна» [6].

Статистической обработкой среднегодовых показателей работы доменных печей предприятий Европы в 1994-1996 гг. показано, что при введении в шихту 5-30 % коксового орешка (от расхода кокса) коэффициент замены орешком близок к 1, производительность печи сохраняется на исходном уровне. Одновременно повсеместно приняты меры по улучшению прочности кокса, прежде всего, по горячей прочности (CRS).

В 2000 г. ПУТ использовалось более чем в 25 развитых странах мира. Причем, в подавляющем большинстве случаев применение ПУТ сочеталось с использованием коксового орешка от 9,6 до 55,8 %. Так, например, доменная печь № 9 фирмы TKS Hamborn ( $V_{\text{раб}}=1833 \text{ м}^3$ ), загружающая 116,8 кг/т чугуна коксового орешка и имеющая очень высокий уровень производства ( $2,92 \text{ т/м}^3 \cdot \text{сутки}$ ), вдувает более 150 кг/т чугуна. Это позволило иметь удельный расход кокса в количестве 209,2 кг/т чугуна. Следует также отметить, что полная и комплексная компенсация вдувания 150-200 кг/т чугуна ПУТ и высокий уровень производства помимо введения коксового орешка обеспечена:

- применением железорудного сырья высокого качества с содержанием мелочи 5-0 мм менее 5 %;
- использованием высокопрочного кокса (CRS более 60-65 %);

- высокой температурой дутья (более 1100 °С) и содержанием в дутье кислорода (более 23 %);
- снижением выхода шлака менее 300 кг/т чугуна;
- благоприятным составом шлака (MgO 8,0-10,5 %) при умеренной основности (CaO/SiO<sub>2</sub> 1,09-1,19);
- низким приходом серы с шихтой;
- повышением давления газа под колошником до 2,3-3,0 бар;
- высокой устойчивостью технологического процесса.

Все эти компенсации и являются типичными для современного технического уровня доменной технологии.

Таким образом, аналитическим путем показано, что при введении коксового орешка фракцией от 10 до 40 мм в количестве от 10 до 20 % от расхода кокса в железорудный слой снижается перепад давления на 9,5-12,5 % и увеличивается производительности доменной печи на 2,2-2,75 %. При модельном исследовании получены аналогичные значения. Кроме того, коксовый орешек является одним из компенсирующих мероприятий для увеличения расхода ПУТ.

## Литература

1. Опыты по применению кокса различной крупности в доменных печах / Айзенхут В., Энгель К., Крафт В. и др. // Черные металлы. - 1979.- № 2. – С. 25-30.
2. Разработка режима загрузки и опыт применения мелкофракционного кокса в мощной доменной печи /Доброскок В.А., Липухин Ю.В., Курунов И.Ф. и др. // Сталь. – 1998. – № 8. – С. 7-13.
3. Работа доменных печей с использованием кокса мелких фракций / Никитин Л.Д., Марьясов М.Ф., Горбачёв В.П. и др. // Metallurg. – 1999. – № 1.– С. 38-39.
4. Эффективность использования кокса фракции менее 40 мм в доменной плавке / Ярошевский С.Л., Ноздрачёв В.А., Чеботарёв А.П. и др.// Metallurg. – 2000. – № 12. – С. 32-35.
5. Топерверх Н.И., Шерман М.Я. Теплотехнические измерительные и регулирующие приборы. – М.: Metallurgиздат, 1956. – 606 с.
6. Ухмылова Г.С. Требования европейских доменщиков к качеству кокса // Кокс и химия. - 2001.- № 4. – С. 24-26.

Поступила в редакцию 12.01.04