

# К вопросу об оптимальном размере кусков скипового кокса

В связи с существенным снижением в последние годы расхода кокса и повышением механических и химических нагрузок на кокс, являющихся следствием значительно-го повышения эффективности применения дополнительных видов топлива, возникла острая необходимость повышения прочностных качеств кокса, что в значительной мере может быть достигнуто за счет современной подготовки кокса к плавке и оптимизации его фракционного состава.

Высокая эффективность подготовки кокса к плавке и оптимизации его фракционного состава подтверждена как теоретически, так и промышленным опытом [1-5].

## 1. Минимальный размер кусков скипового кокса

Оптимальная величина минимального размера кусков скипового кокса была определена по трем критериям.

Во-первых, при размере куска отсеиваемого кокса 32 мм происходит перелом кумулятивной кривой грансостава: до размера куска 32 мм каждый (один) последующий миллиметр увеличения диаметра куска приводит к увеличению количества отсева на 0,31 %; в диапазоне диаметра куска 32-40 мм этот показатель составляет 2,0 % (рис. 1, кривая 1).

Исходя из вышеизложенного, следует, что увеличение диаметра отверстий на ситах кокса в доменных печах более 32 мм нецелесообразно, если из отсева кокса не выделяют коксовый орешек (в дальнейшем – орешек) для использования его в доменной плавке.

Во-вторых, минимальный размер кусков скипового кокса при условии выделения орешка и использовании его в доменной плавке можно определить по суммарному фактическому выходу скипового кокса и орешка [1]. Опыты и расчеты для условий ОАО «ЕМЗ» показывают, что суммарный выход скипового кокса и орешка при диаметре отверстий на нижнем сите коксового грохота 35 мм составляет 569,1 из 600,0 кг металлургического кокса, что на 5,1 кг превышает выход скипового кокса при диаметре отверстий на нижнем сите 25 мм при условии, что из отсева кокса орешек не выделяют. При диаметре отверстий 40 мм суммарный выход скипового кокса и орешка уменьшается почти до базового значения (565,4 и 564,0 кг). Таким образом, по данному показателю минимальный размер кусков скипового кокса рационально принять в пределах 35-40 мм.

В третьих, выделение из отсева кокса орешка и использование его в доменной плавке, помимо указанного эффекта – непосредственного увеличения суммарного выхода скипового кокса и орешка – обеспечивает и дополнительные преимущества: улучшение однородности фракционного состава насыпной массы и порозности скипового кокса и, как следствие, улучшение газопроницаемости слоя шихты, уменьшение поступления в доменную печь коксового мусора 10-0 мм. Эти дополнительные преимущества обеспечивают снижение

Показано, что оптимальный нижний и верхний размеры кусков скипового кокса равны соответственно 35-40 и 80 мм, при обязательном выделении из отсева кокса коксового орешка и введении его в доменную печь в смеси с железорудной шихтой

приведенного удельного расхода металлургического кокса от 600,0 до 580,1 кг/т чугуна (3,3 %) по сравнению с вариантом при диаметре отверстий на сите 25 мм и без высева орешка.

Имеются убедительные отечественный и зарубежный промышленные опыты, подтверждающие эффективность оптимизации минимального размера кусков кокса.

На доменной печи № 1 ОАО «Енакиевского металлургического завода» (ОАО «ЕМЗ») для производства коксового орешка в 2004 г. вместо вращающихся барабанов с отверстиями по окружности установлены два виброгрохота инерционного типа ГИ-22 производительностью до 35 т/ч. Их использование позволило снизить содержание мелочи в орешке 10-0 мм до 1,5-3,0 вместо 11,2-19,7 % в аналогичном продукте, производимом во вращающихся барабанах.

Расчетные и экспериментальные данные о гранулометрическом составе кокса показывают, что расширение щели на нижнем сите от 25 до 40 мм обеспечивает увеличение среднего эквивалентного размера куска скипового кокса от 47,5 до 53,2 мм, его порозности – от 0,587 до 0,604 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, что может способствовать улучшению газопроницаемости коксовой линзы шихты. Ранее было показано, что газопроницаемость рудной линзы шихты при введении в нее орешка улучшается на величину до 12-14 % [1].

Технология плавки с применением орешка (фракции 15-35 мм), загружаемого в смеси с железорудной шихтой была освоена на доменной печи № 1 ОАО «ЕМЗ» в 2004 г. Последовательно расход орешка увеличили до 20-30 кг/т чугуна путем увеличения до 32-36 мм диаметра отверстий на нижнем сите коксового виброгрохота.

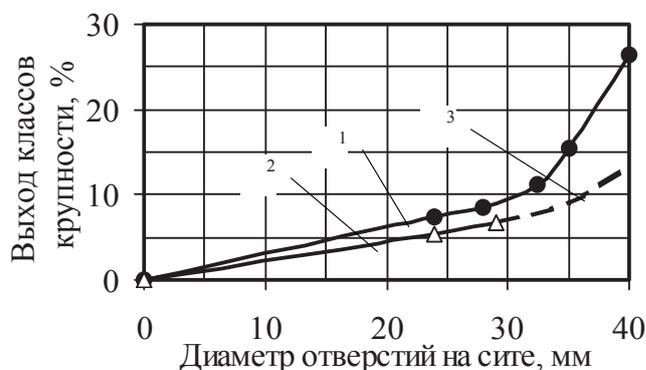
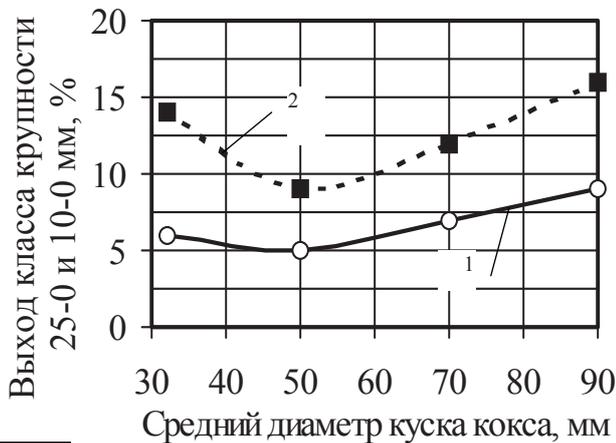


Рис. 1. Выход отсева кокса крупностью до 40 мм при обработке коксов Донецкого региона на вибрационном грохоте: 1 – среднее значение по Авдеевскому, Енакиевскому, Макеевскому и Ясиновскому КХЗ; 2 – фактический выход коксового отсева из кокса в условиях ОАО «ЕМЗ» при диаметре отверстий на ситах кокса 24 и 28 мм; 3 – ожидаемый выход коксового отсева из кокса при диаметре отверстий на ситах кокса в диапазоне 28-40 мм



**Рис. 2.** Выход классов крупности 25-0 и 10-0 мм из различных фракций кокса при обработке последних в барабане (100 об/мин): 1 - класс крупности 10-0 мм; 2 - класс крупности 25-0 мм

Из отдельного шихтового бункера орешек загружали в скип с агломератом вагон-весами, используя систему загрузки шихты АОККК↓ 1,5 м. Объемная доля орешка в железорудной части шихты составила 5-7 %.

В ходе опытно-промышленных плавок показано, что применение орешка в количестве 25 кг/т чугуна способствовало снижению фактического расхода металлургического кокса на 10,7 кг/т чугуна, в том числе на 6,7 кг за счет снижения потерь при высеве мелочи (-15 мм) из металлургического кокса, и на 4 кг/т чугуна – благодаря совершенствованию при введении орешка технологического режима доменной плавки.

В зарубежной практике использование орешка в смеси с железорудной шихтой стало общепринятым после освоения доменными цехами пылеугольной технологии и соответственного (20-40 %) снижения расхода кокса, что в значительной мере способствовало сохранению высокого базового уровня производительности доменных печей [2-4]. Существует несколько характерных вариантов применения орешка.

**Режим 1** – характерен рекордными уровнями расхода кокса + орешек на 1 т чугуна и производительностью печи при высоком уровне расхода ПУТ. При этом коксовый орешек использовали в количестве 21,6 кг/т чугуна (7,9 % от расхода кокса и орешка).

**Режим 2** – расход собственно скипового кокса снижен до рекордных 207,2 кг/т чугуна при введении в железорудную часть 111,8 кг/т чугуна орешка (35,2 % от расхода кокса и орешка). При этом доля скипового кокса в шихте снижена ≅ до 32-34 %.

**Режим 3** – также уникален: в смеси с железорудной шихтой использовали отсев кокса, фракцией 0-40 мм (46,8 кг/т чугуна, 12,8 %). При этом доменная печь сохранила высокий уровень производительности – 2,92 т/(м<sup>3</sup>·сутки).

Если использование коксового орешка способствовало повышению коэффициента использования кокса в доменной печи до 95-96, то в последнем варианте технологии данный коэффициент повышен до 100 %.

## 2. Максимальный размер кусков скипового кокса

Из литературных данных известно, что скиповый кокс крупнее 80 мм недостаточно эффективен в доменной плавке, так как куски кокса размером +80 мм разрушаются в печи с выделением коксового мусора (куски размером менее 10 или 25 мм) [5-13].

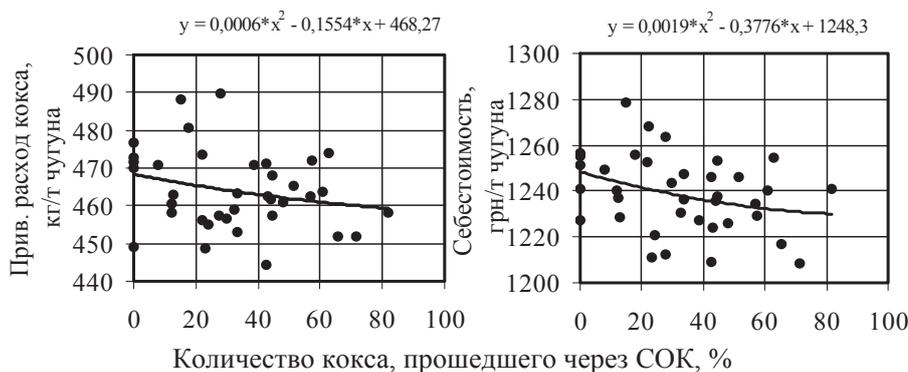
Проведены обстоятельные исследования динамики разрушения кокса и отдельных его фракций в барабане, а также при сбрасывании этих материалов на металлическую плиту [5, 11]. Показано, что воздействие дробящих и истирающих нагрузок в барабане моделирует нагрузки на кокс при опускании его в печи. В данном вопросе наиболее обстоятельной является работа [5]. Вместе с тем, в этой работе так же, как и в других, динамика разрушения кокса и отдельных его фракций, в зависимости от числа оборотов барабана, не соотнесена с горизонтами печи. В связи с этим целесообразно воспользоваться данными работы [12], в которой представлены обобщенные результаты ряда исследований по изучению динамики разрушения кокса в печи, начиная от бункера кокса и колошника печи и заканчивая уровнем воздушных фурм. По этим усредненным данным можно принять, что от уровня кокса в бункере у доменной печи до его уровня в распаре печи средний диаметр кусков кокса уменьшается примерно на 25 % [11]. Средний диаметр кусков кокса при обработке в барабане уменьшается на 25 % после 100 оборотов барабана (от 62,12 до 48,13 мм) [11]. Поэтому можно принять, что нагрузки, которые испытывает кокс при прохождении от верха печи до уровня распара, соответствуют нагрузкам при 100 оборотах барабана.

На рис. 2 по данным работы [5] приведены показатели выхода мелких фракций крупностью 25-0 и 10-0 мм из различных фракций кокса.

Из приведенных данных следует, что фракция кокса +80 мм (средний размер кусков кокса 90 мм) на уровне распара печи выделяет наибольшее количество слабопроницаемых кусков крупностью 10-0 и 25-0 мм: 9 и 16 % соответственно (рис. 2). Следова-

тельно, максимальный размер кусков скипового кокса ≤ 80 мм. Также очевидно, что в перспективе при существенном повышении требований к качеству кокса (при повышении расхода ПУТ до 120-150 кг/т чугуна и рудных нагрузок выше 4,0-4,5 т/т кокса), максимальный размер кусков скипового кокса будет необходимо уменьшить до 65-70 мм.

Эффективность оптимизации верхнего размера скипового кокса, так же как и нижнего, нашла подтверждение в условиях промышленной эксплуатации доменных цехов.



**Рис. 3.** Зависимость основных показателей доменной плавки ДП № 5 ОАО «ЕМЗ» от количества кокса, прошедшего через СОК (период 20.11 - 31.12.2007 г., количество – 37 опытов)

На ОАО «ЕМЗ» впервые в Украине в промышленном масштабе построен и освоен склад окатышей и кокса (СОК), на котором осуществлена предварительная обработка массы кокса с целью минимизации содержания в нем фракции + 80 мм [14]. СОК был введен в эксплуатацию в декабре 2005 г. в рамках реконструкции комплекса ДП № 5. В состав СОК входят: разгрузочное устройство; непосредственно склад окатышей и кокса; узел сортировки материалов; участок погрузки отсева окатышей; система конвейеров для транспортировки окатышей и кокса. Со склада окатыши и кокс подаются на узел сортировки, где установлены два грохота. Один грохот – для отсева из окатышей мелочи, другой – для выделения из кокса фракции более 80 мм. Кокс фракции менее 80 мм после грохочения подается системой конвейеров в бункера доменных печей. Фракция более 80 мм измельчается на двухвалковой дробилке узла дробления кокса. После измельчения кокс также подается в бункера доменных печей. На данном этапе эксплуатации до 80 % от общей массы кокса, расходомером ДП № 5, проходит обработку на СОК. Указанная обработка позволила снизить среднее содержание фракции + 80 мм в скиповом коксе более, чем в 2 раза.

Повышение на 10 % доли кокса, прошедшего обработку на СОК, способствовало снижению его расхода на 1,1 кг/т чугуна и себестоимости чугуна на 2,5 грн/т чугуна (рис. 3).

Исследованиями, проведенными в Финляндии (фирма «Rautaruukki») показано, что снижение содержания фракции + 80 мм на 1 % в массе скипового кокса способствовало повышению производительности доменной печи на 1,6 % [15].

Изложенная выше современная подготовка кокса к плавке, рассчитанная на максимальное повышение

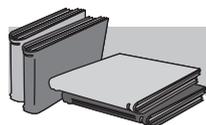
в скиповом коксе содержания фракций 40-80 мм, реализована в 2004-2007 гг. на ОАО «ЕМЗ»; ее массовая реализация за рубежом в 80-90 гг. XX века стала одним из факторов, обеспечивших сохранение высокого уровня производительности доменных печей при массовом использовании пылеугольного топлива и повышении рудных нагрузок на кокс до 4,5-6,5 т/т кокса [1-4].

## Выводы

1. Расчетные и экспериментальные данные показывают, что расширение щели на нижнем сите от 25 до 40 мм обеспечивает увеличение среднего эквивалентного размера куска скипового кокса от 47,5 до 53,2 мм, его порозности – от 0,587 до 0,604 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, что может способствовать улучшению газопроницаемости коксовой линзы шихты. Ранее было показано, что газопроницаемость рудной линзы шихты при введении в нее косового орешка улучшается до 12-14 %.

2. Аналитические, экспериментальные и производственные данные показывают, что в сложившихся шихтовых и технологических условиях оптимальный нижний и верхний размеры кусков скипового кокса равны соответственно 35-40 и 80 мм при обязательном высеве из отсева кокса орешка и введении его в доменную печь в смеси с железорудной шихтой. Указанная современная подготовка кокса к плавке в настоящее время является оптимальной и общепринятой в зарубежной практике.

3. Современная подготовка кокса к плавке в 2004-2007 гг. реализована на ОАО «ЕМЗ»; ее повсеместная реализация за рубежом стала одним из факторов, обеспечивших сохранение высокого уровня производительности доменных печей при массовом использовании пылеугольного топлива и повышении рудных нагрузок на кокс до 4,5-6,5 т/т кокса.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Эффективность технологии доменной плавки при загрузке в печь коксового орешка в смеси с железорудной шихтой / Л. Ф. Литвинов, С. Л. Ярошевский, А. М. Кузнецов и др. // *Металл и литье Украины*. – 2004. – № 12. – С. 5-9.
2. Савчук Н. А., Курунов И. Ф. Доменное производство на рубеже XXI века // *Новости черной металлургии за рубежом*. – Ч. II, Прил. 5. – М.: ОАО Черметинформация. – 2000. – 42 с.
3. Ярошевский С. Л., Кузнецов А. М., Афанасьева З. К. Резервы эффективности комбинированного дутья в доменных цехах Украины. – Донецк: Норд компьютер, 2006. – 31 с.
4. 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.
5. Об оптимальной крупности кокса для доменной плавки // В. А. Улахович, К. К. Шкодин, А. П. Котов и др. // *Сталь*. – 1982. – № 12. – С. 34-38.
6. Бронштейн Л. П., Макаров Г. Н., Цейтлин М. А. Изменение термоустойчивости и прочности доменного кокса в процессе предварительной механической обработки // *Кокс и химия*. – 1970. – № 11. – С. 15-20.
7. Копырин И. А., Крель В. Л., Андрианов В. Ф. К вопросу об оптимальной крупности доменного кокса // *Металлург*. – 1967. – № 8. – С. 10-13.
8. Опытные доменные плавки на сортированном коксе / В. Л. Крель, Г. М. Дорогобид, И. Ф. Курганов и др. // *Кокс и химия*. – 1968. – № 4. – С. 21-24.
9. Балон И. Д., Журавлев Г. В., Притыкина С. З. Требования к качеству кокса в условиях интенсификации доменной плавки // *Металлург*. – 1965. – № 10. – С. 23-28.
10. Ухмылова Г. С. Использование кокса меньшей крупности в доменной печи // *Кокс и химия*. – 1970. – № 10. – С. 58-59.
11. Казанский М. Ф., Антипов В. М., Балон И. Д. Экспериментальные исследования физико-механических свойств насыпных масс предварительно обработанного и рядового коксов // *Тр. ДонНИИЧермета «Металлургия чугуна»*. – М.: Металлургия, 1969. – Вып. 8. – С. 25-33.
12. О ситовом составе кокса для доменной плавки / Л. З. Ходак, Б. А. Гесс-Де-Кальве, Ю. И. Борисов и др. // *Кокс и химия*. – 1974. – № 7. – С. 20-24.
13. Балон И. Д., Хавкин В. И., Антипов В. М. Коксортировка и качество кокса // *Кокс и химия*. – 1977. – № 10. – С. 23-26.
14. Падалка В. П., Кузнецов А. М., Зубенко А. В. Пути совершенствования технологии доменной плавки // *Тр. Междун. научно-техн. конференции «Пылеугольное топливо – альтернатива природному газу при выплавке чугуна»*, – Донецк: УНИТЕХ, 2006. – С. 267-272.
15. Coke quality for a high rate of pulverized coal injection in blast furnace / K. H. Grosspietsch, H. B. Lungen, G. Dauwels und ed. // *Revue de metallurgie-CIT*. – 1999. – № 10. – P. 2-11.