

3. Быков Л.В. Апробирование алгоритма автоматического управления окружным распределением газового потока в производственных условиях доменной плавки / Л.В. Быков // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2000. – № 3. – С. 6–9.
4. Большаков В.И. Технология высокоэффективной энергосберегающей доменной плавки / В.И. Большаков. – К.: Наук. думка, 2007. – 412 с.
5. Влияние частоты вращения распределительного элемента на окружное распределение шихты / А.Л. Брусов, А.Ф. Рыбцов, А.А. Бачинин и др. // *Изв. вуз. Черная металлургия*. – 1987. – № 9. – С. 19–22.
6. Бачинин А.А. Исследование процесса загрузки и выгрузки шихтовых бункеров бесконусных загрузочных устройств доменных печей / А.А. Бачинин, А.Л. Брусов // *Сталь*. – 1989. – № 7. – С. 10–12.

Поступила в редакцию 02.07.2010 Рецензент д-р техн. наук, проф. С.Л. Ярошевский

© Брусов А.Л., 2010

УДК 669.162

А.В. Кузин

ОСНОВЫ СОВРЕМЕННОЙ КОМПЛЕКСНОЙ ПОДГОТОВКИ КОКСА К ДОМЕННОЙ ПЛАВКЕ*

Рассмотрены теоретические предпосылки для снижения расхода кокса в доменной плавке на 50-70% при применении дополнительных видов топлива. Показано, что одной из причин существенного снижения расхода кокса является современная подготовка кокса к доменной плавке по фракционному составу и повышение его горячей прочности до 80-90%.

Ключевые слова: низкорреакционный кокс, зона когезии, коксовый орешек, пылеугольное топливо

Введение

Как известно, в себестоимости чугуна около 50% всех затрат приходится на стоимость энергоносителей, и первую очередь на кокс. В связи с резко возросшей стоимостью природного газа большинство металлургических предприятий Украины сократили или полностью вывели его из состава дутья, что в итоге способствовало существенному – на 20-30 % – росту удельного расхода кокса.

За рубежом благодаря применению качественного железорудного сырья, использованию высокого температурно-кислородного потенциала дутья, вдуванию дополнительных видов топлива в количестве от 100 до

* Работа пополнена под руководством д-ра техн. наук, профессора С.Л. Ярошевского (ДонНТУ)

260 кг/т чугуна на современных доменных печах удельный расход скипового кокса снижен до 250-350 кг/т чугуна. Однако указанное снижение расхода скипового кокса было бы невозможно без его предварительной подготовки к доменной плавке.

Анализ публикаций по теме исследования

Поиски и разработка оптимальной схемы подготовки кокса к доменной плавке начаты в середине прошлого столетия. До настоящего времени проблеме подготовки кокса к доменной плавке посвящены наиболее авторитетные исследования отечественных специалистов И.Д. Балона, Н.Н. Чернова, М.Я. Остроухова, И.И. Коробова, В.И. Логинова, В.А. Улаховича и др. и зарубежных – В. Айзенхута, Э. Тайхерда и др. [1-8]

Ряд исследователей предлагали использовать скиповый кокс фракцией 30-60 мм. Основным доводом была необходимость сближения максимального и минимального размеров кусков кокса с целью снижения проникновения мелких фракций кокса и железорудных материалов между крупными кусками кокса [1].

Другие исследователи рекомендовали использовать кокс фракции 40-80 мм. В качестве доказательства приводили доводы о нахождении кокса в более тяжелых условиях, особенно в доменных печах бóльшего объема, существенном его измельчении под действием механических и температурных воздействий, и, как следствие, поступлению в горн кокса с меньшим средним размером [6].

В ходе проведенных аналитических и экспериментальных исследований под руководством профессоров И.И. Коробова и В.И. Логинова были высказаны и доказаны принципиальные преимущества загрузки в доменную печь коксового орешка или кокса в смеси с железорудной частью шихты, и проведены соответствующие опытно-промышленные плавки [4, 5].

Наши исследования показали, что увеличение расхода коксового орешка фракцией 10-40 мм в количестве от 5 до 30 % позволит улучшить газопроницаемость в «сухой» зоне доменной печи на 7-18 % и снизить расход скипового кокса на 1,61-4,21 % [9].

В настоящее время на зарубежных металлургических предприятиях используется кокс фракцией более 40 мм, но с ограничением класса +80 мм до 5%. В качестве рекомендаций предлагается поддерживать содержание фракции 40-80 мм на уровне не менее 60 % [10]. Данная подготовка способствует сохранению или повышению производительности доменных печей, особенно при их работе с применением большого количества ПУТ и расходом кокса до 300 кг/т чугуна и ниже.

К сожалению, в Украине на большинстве металлургических предприятий, в основном, подготовка кокса к доменной плавке заключается только лишь в выделении из металлургического кокса фракции 25 мм или менее.

Формулировка целей статьи

Целью данной работы является оценка возможности создания в условиях Украины современной комплексной подготовки кокса к доменной плавке при применении дополнительных видов топлива с целью значительного снижения удельного расхода кокса.

Основная часть

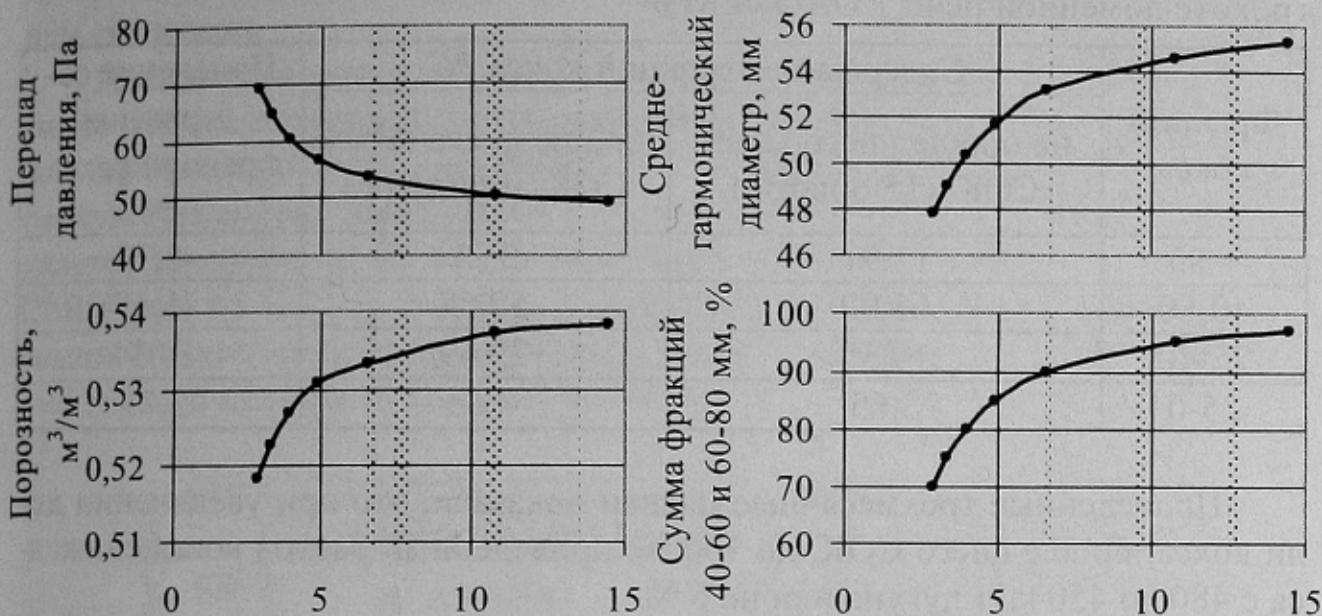
На металлургических предприятиях Украины качество кокса по фракционному составу можно существенно улучшить путём его предварительной обработки за счёт

- выделения из металлургического кокса фракции +80 мм с последующим её дроблением с целью снижения содержания фракции +80 до 5 %;
- отсева из металлургического кокса фракции менее 40 мм;
- выделения на отдельном виброгрохоте из отсева кокса фракции более 10 мм, и получение коксового орешка;
- загрузки коксового орешка в доменную печь в качестве кускового топлива в смеси с железорудной шихтой;
- передачи мелочи кокса фракции менее 10 мм на аглофабрику.

Подготовка кокса к доменной плавке позволит

- снизить количество поступающей фракции +80 мм в печь и, как следствие, образование в печи мелочи фракции менее 10 мм;
- существенно улучшить однородность скипового кокса;
- улучшить прочностные характеристики кокса по показателям M_{10} и M_{25} ;
- улучшить газопроницаемость столба шихты и работу доменной печи в целом;
- снизить потери кокса в виде класса 10-0 мм при грохочении;
- повысить степень использования металлургического кокса в доменной плавке;
- интенсифицировать процессы прямого восстановления оксидов железа в рудной части шихты и т.д.

Нами в работе [11] представлена методика расчёта перепада давления газа в зоне когезии при увеличении доли фракции 40-80 мм в скиповом коксе. Результаты расчета представлены на рис. 1. Как видно из рис.1, при увеличении суммы фракций 40-60 и 60-80 мм с 70 до 97 % и, следовательно, однородности кокса с 2,9 до 14,5 единиц, перепад давления газа, проходящего через слой кокса в зоне когезии, снижается с 69 до 49 Па или примерно на 30 %; порозность кокса повышается с 0,518 до 0,538 м³/м³ и его среднегармонический диаметр – с 48 до 55 мм. Кроме того, характер кривых на рис. 1 свидетельствует о том, что оптимальное значение суммы классов 40-60 и 60-80 мм должно быть увеличено до 90 % и выше.



Однородность кокса по П.А. Щукину, единицы

Рисунок 1 - Зависимости комплексных показателей качества кокса от его однородности (заштрихованная область – оптимальное значение)

Известно, что при прохождении кокса от бункера до распара доменной печи средний диаметр кусков кокса уменьшается. Были обобщены результаты ранее известных исследований по изучению динамики разрушения кокса в барабане. Показано, что наименее разрушаемой в печи является фракция кокса 40-60 мм [12]. В зависимости от технологических условий допустимо использование кокса фракцией 60-80 мм и в меньшей степени 25-40 мм. Однако, фракции кокса 25-0 и +80 мм уже в современных, а тем более в перспективных технологических условиях, нежелательны.

Очевидно, что традиционная схема подготовки кокса к доменной плавке в Украине, заключающаяся только в выделении из металлургического кокса фракции менее 25 мм, не отвечает современным требованиям доменной технологии.

В ОАО «Енакиевский металлургический завод» внедрена современная подготовка кокса к доменной плавке по фракционному составу. Одним из элементов данной подготовки является выделение из металлургического кокса фракции менее 40 мм, высев из отсева коксового орешка и загрузка его в доменную печь в смеси с железорудной шихтой. Другим элементом подготовки является удаление фракции более 80 мм с последующим её дроблением. Были проведены исследования фракционного состава кокса, прошедшего и не прошедшего склад окатышей и кокса (СОК). Из табл. 1 видно, что операции на СОК способствуют решению основной задачи – значительному снижению (в 3,7 раза) содержания в скиповом коксе фракции более 80 мм, а также повышению до 90% содержания фракции 25–80 мм.

Таблица 1 – Фракционный состав скипового кокса на левом коксовом грохоте доменной печи 1 ОАО «ЕМЗ»

Фракции кокса	Содержание фракций кокса, %		Изменение содержания фракций кокса, %
	не прошедшего через СОК, (15 опытов)	прошедшего через СОК, (6 опытов)	
+ 80	11,91	3,21	-8,70
40-80	65,09	59,68	-5,41
25-40	19,35	29,69	10,34
25-0	3,65	7,42	3,77

Проведенные трехмесячные плавки показали, что при увеличении доли кокса, прошедшего СОК, до 100 %, приведенный расход кокса снижался с 480 до 450 кг/т чугуна или на 6 %.

Как известно, главная и определяющая роль кокса в доменной плавке – обеспечение газопроницаемости столба шихты по высоте печи – от лежачи до уровня засыпи на колошнике. В настоящее время доменная технология достигла предельных показателей. Так, в табл. 2 приведены показатели работы доменных печей с высоким расходом ПУТ при расходе кокса 250-289 кг/т чугуна.

Таблица 2 – Параметры доменных печей при работе с высоким удельным расходом ПУТ

Показатели	Франция	Нидерланды	Япония, Фукуяма, ДП 3	Китай, 2003 г., Baosteel
	2005, Arcelor Dunkerque, ДП 4	2007, Corus Ijmuiden, ДП 6		, ДП 1
Рабочий объем печи, м ³	3940	2328	2774	4350
Удельная произ-ть, т/(м ³ ·сутки)	2,34	3,07	1,84	2,2
Удельный расход, кг/т чугуна:				
кокса	289	261	289	250
ПУТ	196	239	266	261
Содержание кислорода в дутье, %	24,4	36,2	25,8	24,2
Температура дутья, °С	1181	1167	1220	1251
Содержание Si в чугуне, %	0,48	0,41	0,34	0,30
Выход шлака, кг/т чугуна	274	194	266	255

Данное снижение расхода кокса было обеспечено существенным снижением выхода шлака, увеличения содержания железа в шихте, примене-

нием металлодобавки, повышением температуры дутья и содержания в нём кислорода.

Дальнейшее снижение расхода кокса в доменной плавке проблематично без существенного повышения качества кокса по таким показателям как горячая прочность. Зарубежный опыт показывает, что высокоэффективную доменную технологию с расходом ПУТ 200 кг/т чугуна и более удастся внедрить лишь на предприятиях, имеющих кокс с показателями CSR более 65 % [13]. На рис. 3 показано, что увеличение расхода ПУТ свыше 300 кг/т чугуна, по-видимому, будет возможно только при повышении горячей прочности кокса до 80-90 %.

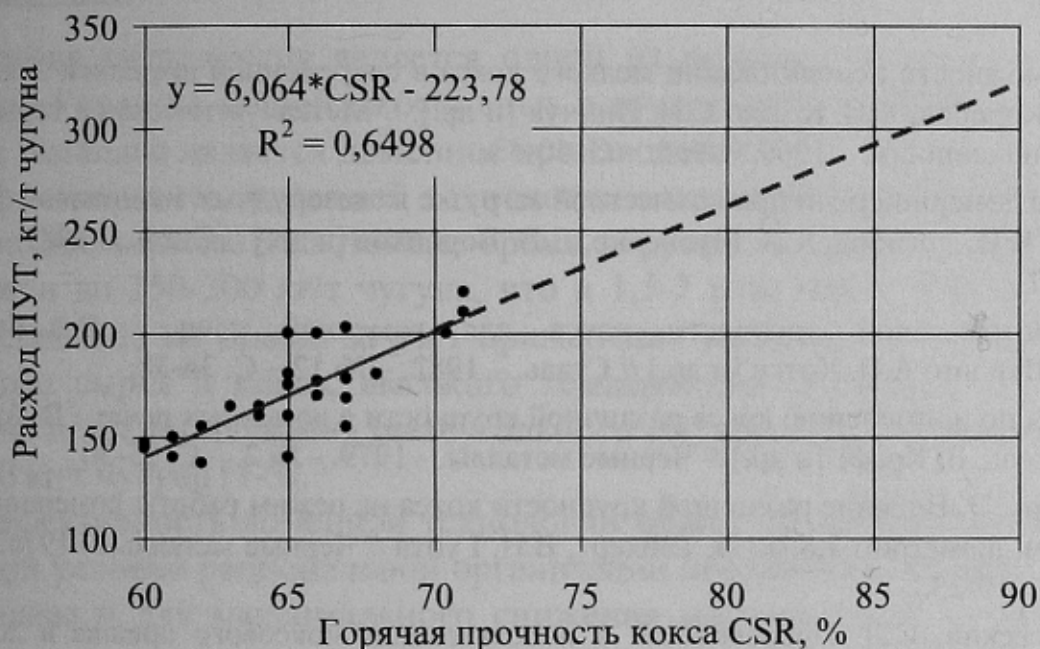


Рисунок 3 – Зависимость удельного расхода ПУТ от горячей прочности кокса: точки – экспериментальные значения по данным работы [13]; штриховая линия – прогноз.

Выводы

1. Качество кокса по фракционному составу в Украине можно существенно улучшить за счет выделения из металлургического кокса и дробление фракции более 80 мм, отсева мелочи менее 35-40 мм и выделения из него коксового орешка фракцией 35(40)-10 мм с последующей загрузкой в смеси с железорудной частью шихты. Это позволит существенно улучшить однородность скипового кокса, улучшить прочностные характеристики кокса по показателям M_{10} и M_{25} , улучшить газопроницаемость столба шихты и работу доменной печи в целом, интенсифицировать процессы прямого восстановления оксидов железа в рудной части шихты и т.д.

2. Для существенного снижения расхода кокса в доменной плавке при применении дополнительных видов топлива, современная доменная технология помимо увеличения содержания железа в шихте, повышения тем-

пературно-дутьевого потенціала горна, зниження вихода шлака і др. заходів, буде потрібно в отриманні високопрочного кокса з показником CSR 80-90 %.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Балон, И.Д. К вопросу об оптимальной крупности кокса / И.Д. Балон // *Металлург.* - 1966.- № 11. – С. 2-3.
2. Чернов, Н.Н. Об оптимальной крупности шихтовых материалов доменной плавки / Н.Н. Чернов // *Металлург.* - 1967.- № 5. – С. 9-10.
3. Остроухов, М.Я. О разрушении кокса в доменной печи / М.Я. Остроухов // *Исследование доменного процесса.* – М.: Академия наук СССР, 1957. – С. 177-195.
4. О возможности использовании мелкого кокса в современной доменной технологии /И.И. Коробов, К.И. Котов, С.И. Пинчук [и др.]. // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 1969. – № 5. – С. 40-43.
5. Работа доменной печи при совместной загрузке железорудных материалов и кокса в скип / В.И. Логинов, К.А. Мусиенко, Д.В. Воронков [и др.] // *Сталь.* – 1987. – № 12 – С. 7-12.
6. Об оптимальной крупности кокса для доменной печи / В.А. Улахович, К.К. Шкодин, А.П. Котов [и др.] // *Сталь.* – 1982. – № 12 – С. 34-38.
7. Опыты по применению кокса различной крупности в доменных печах / В. Айзенхут, К. Энгель, В. Крафт [и др.] // *Черные металлы.* - 1979. - № 2. – С. 25-30.
8. 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.
9. Ярошевский, С.Л. 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.
10. Ухмылова, Г.С. Требования европейских доменщиков к качеству кокса / Г.С. Ухмылова // *Кокс и химия.* - 2001.- № 4. – С. 24-26.
11. Подготовка кокса к доменной плавке на современном этапе развития доменного производства в Украине /А.В. Кузин, С.Л. Ярошевский, А.М. Кузнецов [и др.] // *Сборник научных трудов. Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии.* – Днепропетровск: ИЧМ им. З.И. Некрасова НАН Украины, 2008.– В. 16. – С. 196-204.
12. К вопросу об оптимальном размере кусков скипового кокса / С.Л. Ярошевский, Н.С. Хлапонин, А.М. Кузнецов [и др.] // *Металл и литье Украины.* - 2009. - № 3. – С. 25-27.
13. Золотухин Ю.А. Требования к качеству кокса для доменных печей, работающих с различным удельным расходом пылеугольного топлива / Ю.А.Золотухин, Н.С.Андрейчиков, Я.Б.Куколев // *Кокс и химия.* – 2009. – № 3. – С. 25-31.

Поступила в редакцию 06.10.2010

Рецензент д-р техн. наук, проф. В.В. Кравцов

© Кузин А.В., 2010