

Министерство образования Украины

Приазовский государственный технический университет

На правах рукописи

СЕМАКОВА Виктория Борисовна

**СНИЖЕНИЕ РАСХОДА КОКСА
ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ
ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА В ДОМЕННОЙ ПЕЧИ**

Специальность 05.16.02 "Металлургия черных металлов"

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Мариуполь, 1996 г.



00757047 (U)

Дисертацією является р

Работа выполнена в Приазовском государственном техническом
университете

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
ТАРАСОВ Владимир Петрович

Официальные оппоненты: доктор технических наук
БУГАЕВ Константин Михайлович
кандидат технических наук, доцент
СИДОРЕНКО Григорий Николаевич

Ведущее предприятие: Металлургический комбинат им. Ильича

Защита состоится "5" декабря 1996 г. в 13³⁰ час. на
заседании специализированного ученого совета К 14.01.03 при
Приазовском государственном техническом университете по
адресу: 341000, г. Мариуполь Донецкой обл., пер. Республики, 7

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Приазовского государственного технического университета

Автореферат разослан "1" ноября 1996 г.

Ученый секретарь
специализированного совета
доктор техн. наук, профессор

Маолов В.А.

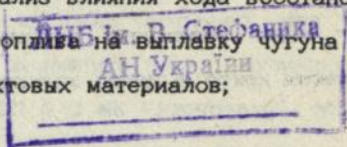
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Важным направлением преодоления кризисных явлений в экономике Украины и стран СНГ является восстановление высоких технико-экономических показателей производства черных металлов, в том числе выплавки чугуна. Эффективным средством совершенствования доменного процесса является достижение рационального газо- и шихтораопределения в рабочем пространстве доменной печи (ДП). Достижимое при этом значительное снижение удельных энергетических затрат на выплавку чугуна является, в первую очередь, следствием изменения хода процессов восстановления оксидов железа и увеличения степени использования (СИ) восстановительной способности доменного газа. Для ДП, работающих с высокой интенсивностью на высокотемпературном комбинированном дутье, актуальной является технология с формированием интенсивного осевого газового потока, для которой характерно увеличение СИ восстановительного потенциала газа по всему радиусу рабочего пространства, за исключением осевой зоны. В связи с этим назрела необходимость анализа особенностей восстановительных процессов при применении такой технологии доменной плавки.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ. Целью работы является повышение эффективности доменной плавки за счет выявления и использования резервов улучшения восстановительной работы доменных газов в частности по радиальным зонам рабочего пространства доменной печи.

Для достижения поставленной цели решали следующие задачи:

- провести статистический анализ влияния хода восстановительных процессов на расход топлива на выплавку чугуна при различных условиях загрузки шихтовых материалов;



- исследовать возможность горизонтального перетока частиц стационарного олюя рудной шихты в толщу псевдоожиженного олюя кокса при его осевой загрузке;

- разработать методику определения степени прямого восстановления (СПВ) r_d в радиальных зонах колошника;

- исследовать и сопоставить развитие процессов прямого и косвенного восстановления оксидов железа в объеме ДП и их распределение по радиусу при различных режимах загрузки;

- разработать новые показатели, объективно характеризующие противоток шихты и газов и развитие процессов восстановления в доменной печи;

- выявить резервы совершенствования радиального шихто- и газораспределения, исследовав полноту протекания реакций косвенного восстановления оксидов железа по радиусу ДП;

- разработать способ загрузки доменной печи с рациональным радиальным распределением железорудных материалов различной восстановимости.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА, ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ. С применением методов множественной линейной корреляции проанализировано независимое влияние увеличения СИ восстановительного потенциала доменного газа на расход топлива. По степени влияния на расход углерода топлива восстановительные процессы превзошли температуру дутья и нагрев жидких продуктов плавки.

Впервые исследован процесс перетока плотных олюев агломерата в толщу псевдоожиженного олюя кокса при вертикальной границе раздела.

Исследован характер изменения по радиусу доменной печи r_d для различных режимов загрузки. При переходе к подаче части кокса в центр колошника r_d у отен печи значительно ни-

же, чем при традиционном режиме загрузки, и монотонно увеличивается в направлении от стен доменной печи к оси.

Предложены новые показатели, объективно характеризующие вооcтановительные процессы и противоток шихты и газов в ДП: комплексный показатель противотока, равновесная СПВ, критерий полноты протекания реакций кооcвенного вооcтановления.

Впервые предложен наглядный графический метод определения СПВ оксидов железа в различных точках радиуса колошника.

Выявлены резервы снижения расхода кокса на выплавку чугуна при развитом ооcвом газовом потоке и высокой степени использования доменного газа у стен печи: устранение явного рудного гребня и увеличение степени использования доменного газа в зоне, непосредственно окружающей ооcвую.

Разработан способ загрузки ДП, предусматривающий перераспределение многокомпонентной рудной шихты по радиусу колошника в зависимости от ее вооcтановимости.

Предложен способ вооcтановления высокой интенсивности доменной плавки и снижения расхода кокса за счет частичной его загрузки непосредственно в центр колошника перед опусканием в печь каждой подачи.

РЕАЛИЗАЦИЯ РАБОТЫ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ. Перераспределение рудных материалов различной вооcтановимости по радиусу ДП, реализованное на МК "Азовоталь" и "Запорожоталь", обеспечивает снижение расхода кокса на 9 - 22 кг/т чугуна за счет увеличения степени использования вооcтановительной способности доменного газа.

Способ вооcтановления высокой интенсивности доменной плавки и снижения расхода кокса за счет частичной его загрузки непосредственно в центр колошника перед опусканием в печь каждой подачи применен на ДП N 3 МК "Азовоталь", оборуд-

дованной лотковым загрузочным устройством (ЗУ). Экономический эффект составил 48,8 тно. грн.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ И ПУБЛИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ. Основные результаты и положения диссертации доложены и обожуждены на региональных научно-технических конференциях в г. Мариуполе в 1992 и 1995 г.г. и международной научно-технической конференции "Теория и технология аглодоменого производтва" в г.Днепропетровке в 1995 г.

Основные результаты работы изложены в 9 публикациях.

СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ. Диссертация состоит из введения, 4 глав, общих выводов и рекомендаций, изложена на 150 страницах машинописного текста и включает 44 рисунка, 12 таблиц, список литературы из 136 наименований, 7 приложений.

ЛИЧНЫЙ ВКЛАД ДИССЕРТАНТА В РАЗРАБОТКУ НАУЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ, КОТОРЫЕ ВНОСЯТСЯ НА ЗАЩИТУ. Автор организовала и провела исследования перетока частиц стабильного олоя агломерата в толщу поевдоожженного олоя кокоа, воооановимости шихты; разработала порядок раочета на ЭВМ перетока рудных частиц в осевую зону колошника; провела сопоставительный анализ радиального шихто- и газораопределения, изменения γ_{α} , технико-экономических показателей доменной плавки при различных режимах загрузки и их статистиическую обработку; предложила новые показатели противотока шихты и газа, а также хода воооановительных процесоов, графический метод раочета степени прямого воооановления, оспособ загрузки ДП о учетом воооановимости железорудных материалов.

МЕТОДОЛОГИЯ, МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. Для решения задач диссертационной работы применены физико-химические, газодинамические и балановые расчеты, статистиическая обработка

показателей работы ДП. Расчеты проведены с использованием ЭВМ. Лабораторные исследования осуществлялись с применением физического моделирования и элементов теории подобия. Теоретические и экспериментальные исследования дополнялись исследованиями на доменных печах путем сравнения с базовыми периодами их работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1 СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ОЦЕНКЕ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ

Опыт работы современных ДП показывает, что в результате совершенствования распределения шихты и газов в рабочем пространстве, прежде всего в радиальном направлении, расход кокса на выплавку 1 т чугуна может быть сокращен на 10–20 кг. Значительный вклад в современные представления о характере движения шихты и газов в ДП сделан Стефановичем М.А., Тарасовым В.П., Логиновым В.И., Ковшовым В.Н., Бугаевым К.М. и др. исследователями. Однако, несмотря на большой объем проведенных исследований, отсутствуют представления об оптимальном радиальном распределении шихты и газов в ДП, к которому бы следовало стремиться при управлении ДП "сверху". Наилучшие технико-экономические показатели доменной плавки обычно достигаются при формировании осевого отолба кокса с высокой газопроницаемостью, относительно равномерном распределении шихтовых материалов на остальной части колошника и уменьшении содержания мелких фракций в составе рудных материалов. Такая технология доменной плавки получает распространение на ДП, оборудованных лотковыми ЗУ и усовершенствованными конусными ЗУ с осевым технологическим отвер-

стием в большом конусе и о желобом для подачи кокса, проведенным под большим конусом (БК).

Для выбора рациональных режимов загрузки ДП и выявления резервов снижения расхода кокса, особенно при использовании многокомпонентной рудной шихты с различной восстановимостью, необходим сравнительный анализ хода восстановительных процессов по радиусу рабочего пространства ДП. Развитию представлений о процессах восстановления в ДП способствовали работы М.А. Павлова, А.Н. Рамма, К.К. Шкодина и др. авторов. Среди множества предложенных показателей процессов восстановления железа в ДП наиболее объективным является степень прямого восстановления r_d - доля железа, восстановленного твердым углеродом. Ее значения в различных радиальных зонах ДП могут быть определены по составу колошникового газа с применением методов расчета выхода доменного газа, разработанных Тарасовым В.П. Для более полной характеристики процессов восстановления в ДП предлагается применять статистические методы исследований, новые показатели восстановления и противотока шихты и газа, дополняющие известные критерии.

2 АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЗАГРУЗКИ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ С ЧАСТИЧНОЙ ПОДАЧЕЙ КОКСА НЕПОСРЕДСТВЕННО В ЦЕНТР КОЛОШНИКА НА ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА

Для проведения исследований влияния различных режимов загрузки на ход восстановления оксидов железа в ДП использовались показатели работы ДП №3 МК "Запорожсталь" за период с 1986 по 1992 г.г., где с 1987 г. осуществляется подача части кокса в центр колошника с помощью ЗУ с осевым технологическим отверстием в БК. При переходе к осевой загрузке кокса

снижение его расхода, приведенного к сопоставимым условиям, достигло 39 кг/т чугуна. Для выделения непосредственного влияния на расход топлива изменения хода восстановительных процессов, характеризующихся комплексным показателем эффективности восстановления $\delta_{\eta} = 100(\eta_{\text{ф}} / \eta_{\text{в}})$, где $\eta_{\text{ф}}$ и $\eta_{\text{в}}$ — фактическое и равновесное значения СИ восстановительной способности газа для реакции восстановления FeO до Fe при температуре 800 °C, применена статистическая обработка данных с использованием множественной линейной корреляции. По степени влияния на снижение расхода топлива (8%) восстановление оксидов железа привнесло температуру дутья $T_{\text{д}}$ и нагрев жидких продуктов плавки, характеризующийся содержанием Si в чугуне, (2,7 и 3,5 %, соответственно), но уступило богатству шихты Fe (39,5 %).

Удельный расход углерода топлива на ДП N 3 МК "Запорожсталь" в исследуемый период может быть определен из уравнения

$$C = 1390,63 - 1,32 \delta_{\eta} - 16,56 Fe + 57,43 Si + 0,046 T_{\text{д}}. \quad (1)$$

Снижение расхода топлива при переходе к новым режимам загрузки обусловлено оокращением развития эндотермических реакций прямого восстановления железа. СПВ r_{α} в ДП и ее семи радиальных зонах рассчитывалась по составу газа и шихты

$$r_{\alpha} = i - (0,01q_i V_i / A_i - 0,0014\alpha) / (0,0028\alpha + 0,0031\beta), \quad (2)$$

где α и β — содержание Fe_2O_3 и FeO в рудной шихте, %;

q_i и V_i — содержание продуктов восстановления в колошниковом газе, %, и его выход, м³/т чугуна, в печи или в i -той радиальной зоне;

A_i — удельный расход рудной шихты в печи или в i -той радиальной зоне, кг/т чугуна.

При новых режимах загрузки r_{α} , приведенная к расходу природного газа 138 м³/т чугуна, снизилась с 18,75 до 16,27 %.

Изменение r_{α} по радиусу ДП исследовалось при двух режи-

мах загрузки: традиционном (базовый период) и о подачей части кокса в осевую зону (опытный период).

Значения q_4 определялись с учетом отклонения газового потока к оси. При расчетах значений A_4 и V_4 для опытного режима учитывалась возможность поперечного проникновения рудной шихты в осевую ствол кокса при переходе топлива в псевдооживленное состояние. Для подтверждения возможности такого явления было исследовано поведение кокса крупностью 3-5 мм и агломерата 1-3 мм, уложенных в газодинамический цилиндр таким образом, что ствол кокса располагался у оси цилиндра и был окружен агломератом. При продувке воздухом со скоростью, обеспечивающей взвешенное состояние кокса при стабильном слое агломерата, наблюдались увеличение диаметра ствола кокса на поверхности слоя, рост перепада давления, проникновение агломерата в нижние слои осевой зоны и вытеснение кокса вверх. Результаты эксперимента, позволяют предположить, что при переходе кокса в псевдооживленное состояние в центре колошника рудные материалы проникают к оси, вытесняя кокс на поверхность засыпки еще до опускания следующей подачи. Рудная нагрузка в осевой зоне с учетом описанного явления возросла в опытный период с 0 до 0,28 т/т кокса. В базовый период рудная нагрузка и газовый поток следующим образом распределялись по радиусу ДП: у стенок - 2,3 т/т кокса и 1,7 м/с, в промежуточной зоне - 5,0 т/т кокса и 1,2 м/с, в осевой - 1,2 т/т кокса и 3,2 м/с. Опытный период характеризуется несколько большей рудной нагрузкой и меньшей скоростью газа в периферийной зоне - 2,4 т/т кокса и 1,6 м/с, близкими значениями в районе рудного гребня - 5,3 т/т кокса и 1,2 м/с и значительно меньшей рудной нагрузкой и большей скоростью газа у оси печи - 0,28 т/т кокса и 4,1 м/с.

При типовой системе загрузки изменение r_d по радиусу ДП имеет экстремальный характер (рис. 1), увеличиваясь с 27,0 – 31,6% у стен печи до 51,6 – 56,8 % в районе рудного гребня и уменьшаясь до 1,9 % у оси ДП. При осевой загрузке части кокса r_d у стен ДП №3 МК "Запорожсталь" снизилась практически до 0. По мере продвижения к центру печи r_d монотонно возрастает, достигая максимума у оси. Высокая СПВ в центральной зоне объясняется подъемом области высоких температур при интенсивном газовом потоке непосредственно к поверхности засыпи и незначительной протяженностью зоны коовенного восстановления. Поскольку основная масса рудных материалов движется в области, расположенной ближе к отенам печи, достигнутые изменения в распределении восстановительных процессов обеспечили общее снижение r_d и уменьшение удельного расхода кокса.

3 ИЗМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА В ДОМЕННОЙ ПЕЧИ ПРИ ДОСТИЖЕНИИ РАВНОВЕСНОГО СОСТАВА ДОМЕННОГО ГАЗА

Возможность максимального снижения расхода кокса за счет рационального распределения шихты и газов оценивается по разности значений СПВ: фактического r_d и оптимального $r_{d_{min}}$, достигаемого при выполнении условия равенства кокса-источника тепла и кокса-источника газа-восстановителя и минимальном выходе доменного газа равновесного состава для реакции восстановления FeO до Fe .

При исследовании восстановительных процессов в различных радиальных зонах ДП удобно применение равновесной r_{d_0} , соответствующей равновесному составу доменного газа по реакции восстановления FeO до железа при его фактическом выходе, принимающей отрицательные значения, когда рудные материалы

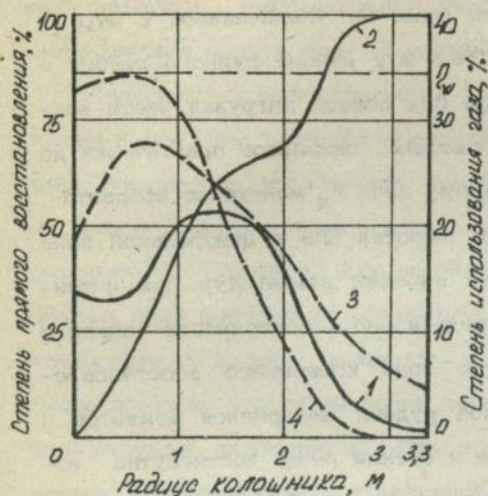


Рисунок 1 - Изменение степени прямого восстановления z_d (1,2) и степени использования газа q_p для реакции восстановления FeO до железа (3,4) по радиусу колошника:

1,3 - при типовом режиме загрузки;

2,4 - при частичной загрузке кокса в центр колошника.

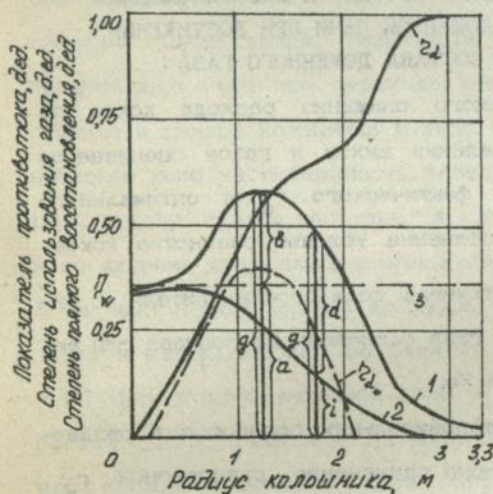


Рисунок 2 - Графический метод расчета фактической z_d и равновесной z_d степени прямого восстановления:

1 - показатель противотока G_r ;

2, 3 - фактическая q_p и равновесная q_p степени использования газа, соответственно.

могут быть полностью восстановлены газом, и положительные - при недостатке газа-восстановителя для полного восстановления железорудной шихты. По мере увеличения η_{ϕ} фактическая r_{α} уменьшается за счет более полного развития кооверного восстановления, а равновесная r_{α_0} увеличивается из-за уменьшения выхода газа-восстановителя. При достижении равновесной СИ восстановительного потенциала газа η_w значения r_{α} и r_{α_0} совпадают с оптимальной $r_{\alpha_{min}}$.

Развитие процессов восстановления железа в различных радиальных зонах ДП и характер изменения по радиусу рабочего пространства значений r_{α} и r_{α_0} предопределяется распределением встречных потоков рудной шихты и газа-восстановителя. Объективными характеристиками противотока шихты и газа являются показатель G , представляющий собой отношение числа молей атомарного кислорода, связанного с железом в шихте, к числу молей восстановительного газа, либо аналогичный показатель G_1 , учитывающий только кислород, содержащийся в FeO.

Непооредотвенное отношение показателей G и G_1 к общей η , фактической η_{ϕ} и равновесной η_w СИ газа позволяет определить фактическое $r_{\alpha}(R_{\alpha})$ и равновесное r_{α_0} значения СПВ по М.А.Павлову и А.Н.Рамму: $r_{\alpha} = 1 - (\eta_{\phi}/G_1)$, $R_{\alpha} = 1 - (\eta/G)$, $r_{\alpha_0} = 1 - (\eta_w/G_1)$ - как в целом для печи, так и для любой точки ее радиуса путем графического сопоставления длин вертикальных отрезков (рис.2): $r_{\alpha} = d/g$, $r_{\alpha_0} = \delta/g$, $r_i = i/g$, $r_{i_0} = a/g$.

Анализ радиального распределения значений фактической и равновесной СПВ при различных режимах загрузки показывает, что при осевой загрузке кокса значения r_{α} и r_{α_0} в периферий-

ной зоне практически совпадают (рис. 2), а η_{Φ} приближается к равновесным значениям (рис. 1). Резервом дальнейшего снижения расхода кокса за счет увеличения массы рудных материалов может стать зона, непосредственно окружающая осевую, где значения r_d и r_{d_0} значительно отличаются, а η_{Φ} приобретает низкие значения.

В районе рудного гребня значения r_{d_0} составили 35-40 % (рис.2), что свидетельствует о значительной перегрузке данного участка радиуса колошника железорудной шихтой, т.е. количество рудных материалов превосходит предельную массу, которую может восстановить доменный газ, как при типовом режиме загрузки, так и при частичной подаче кокса в центр колошника. Снижению затрат тепла на развитие реакций прямого восстановления при высокой η_{Φ} будет способствовать устранение явно выраженного рудного гребня, окращение локального избытка железорудной шихты за счет ее радиального перераспределения.

Наиболее объективно оценивает ход восстановительных процессов в ДП критерий, представляющий собой степень приближения доли оксидов железа, восстановленных газами, к максимально возможной степени коовенного восстановления

$$K_{r_t} = 100 (1 - r_d) / (1 - r_{d_{min}}), \% \quad (3)$$

Сравнение показателей процессов восстановления ДП №3 МК "Запорожсталь" при различных режимах загрузки (табл. 1) свидетельствует о преимуществах технологии доменной плавки осевой технологической отдушиной, заключающихся в более полном развитии энергетически выгодных реакций коовенного восстановления.

Таблица 1 – Сопоставление показателей восстановительных процессов оксидов железа в ДП N 3 МК "Запорожсталь" при традиционном режиме загрузки шихты (базовый период) и подаче части кокса в оловую зону (опытный период)

Показатели восстановления	Базовый период	Опытный период
Удельный расход кокса, кг/т чугуна	495	483
Расход природного газа (ПГ), м ³ /т чугуна	156	125
Рудная нагрузка на кокс, т/т чугуна	3,85	3,87
Рудная нагрузка на газ, т/т газа	1,71	1,77
Показатель противотока, моль/моль:	Б	0,48
	Б ₁	0,33
Степень использования газа, д. е. д.:	ϱ	0,427
	ϱ_{Φ}	0,274
Комплексный показатель δ_{ϱ} , %	79,58	81,53
Степень прямого восстановления r_d , %	15,7	22,3
r_d , приведенная к расходу ПГ 125 м ³ /т чугуна	30,3	22,3
Равновесная r_{d_0} , %	-4,2	4,4
Оптимальная $r_{d_{min}}$, %	5,6	13,6
Критерий K_{r_L} , %	89,3	89,9

4 РАЗРАБОТКА СПОСОБА ЗАГРУЗКИ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ С РАЦИОНАЛЬНЫМ РАДИАЛЬНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ РАЗЛИЧНОЙ ВОССТАНОВИМОСТИ

Следствием формирования рудного гребня на ограниченном участке радиуса колосника при одновременных способах загрузки ДП, характеризующегося недостаточным количеством газа для восстановления всей массы железорудной шихты, является неравноценность подачи рудных материалов разной восстановимости в различные радиальные зоны рабочего пространства. Улучшение восстановимости железорудного материала способствует снижению r_d при подаче шихты в зоны с достаточно развитым газовым потоком, где содержание CO_2 невелико, и η_{Φ} далека от

равновесного значения. Трудновосстановимый материал, медленно реагирующий с газами, в этих же условиях достигнет меньшей степени восстановления, чем легковосстановимый материал, что вызовет увеличение r_d , а следовательно, и удельного расхода кокса. Восстановимость железорудного материала при его подаче в район рудного гребня, где остаток газа близок к равновесному и ход процесса восстановления определяется термодинамическими условиями, практически не влияет на развитие реакций кооженного восстановления оксидов железа. Таким образом, легковосстановимый материал лучше подавать в зону с низким содержанием CO_2 для наибольшего использования его высокой восстановимости, а трудновосстановимый материал - в область рудного гребня с максимальным содержанием CO_2 в колшниковом газе, где негативное влияние его низкой восстановимости минимально.

Наибольшее влияние радиального перераспределения железорудных материалов с различной восстановимостью на показатели доменной плавки может быть достигнуто на МК "Азовсталь", где одновременно используется до 9 рудных компонентов шихты. Исследования восстановимости шихты МК "Азовсталь" оксидом углерода (II) проводились массометрическим способом и показали, что с увеличением содержания FeO восстановимость шихты уменьшается.

Перераспределение легковосстановимого азовстальского агломерата к отенам колшника на ДП N 5 МК "Азовсталь", работающей с развитым периферийным газовым потоком, осуществлялось за счет его сосредоточения в первых окипах прямых подач. В остатке подач коксом вперед и во вторых окипах прямых подач загружались трудновосстановимый агломерат и окатыши. При этом наблюдалось увеличение содержания

CO_2 в колошниковом газе у стен печи с 6,0 до 17,0 % при общем увеличении СИ доменного газа с 0,404 до 0,420 д. ед.

Для восстановления высокой интенсивности доменной плавки после длительной остановки на ДП N 3 МК "Азовсталь" применена система загрузки, предусматривающая загрузку одного скипа кокса в осевую зону перед каждой подачей по схеме Кf-1, КАfАКf-1. Достигаемое при формировании непрерывного столба кокса в центре печи повышение газопроницаемости осевой зоны позволило активизировать работу центральной части горна, обеспечить высокий прогрев шлака по всему радиусу ДП и увеличить ее фороировку. При этом в течение трех оуток увеличились: рудная нагрузка с 2,25 до 2,97 т/т кокса, расход дутья с 3000 до 3600 м³/мин, содержание O_2 в дутье с 22 до 23 %, температура дутья с 600 до 700 °С. Приведенный расход кокса снизился на 9,1 кг/т чугуна, а производительность возросла на 36,9 т чугуна/оут. Фактически расход кокса снизился с 723 до 626 кг/т чугуна, а оуточное производство увеличилось с 1699 до 2054 т чугуна. Экономический эффект составил 48,8 тыс. грн.

В В О Д Ы

1 При традиционном порядке подачи шихты на колошник максимальная r_d наблюдается в районе рудного гребня, умеренные значения r_d характерны для периферийной области, а наименьшая r_d достигается у оси ДП. При осевой загрузке части кокса наименьшая r_d достигается у стен печи, а по направлению к оси r_d монотонно возрастает. Значительное снижение r_d на участке от стен печи до гребня, где проходит основная масса рудной шихты, обеспечивает общее снижение r_d и удельных энергетических затрат.

2 При переходе одного из олов, имеющих вертикальную границу раздела и различающихся насыпной плотностью, в поведдоожженное состояние в результате продувки восходящим потоком газа более тяжелые частицы сохраняющего стабильность ося проникают в толщу взвешенных частиц, вытесняя их в верхние горизонты. С увеличением скорости газа этот процесс укоряется и сопровождается большим увеличением перепада давления.

3 При формировании оевого отолба кокса после опускания очередной подачи шихты в ДП и превышении критического значения скорости газового потока в центре печи кокс у поверхности засыпи переходит в поведдоожженное состояние, вследствие чего в оеую зону проникают рудные частицы. Процесс перетока рудных материалов в оеую зону продолжается до момента, когда окорость газа в центре печи станет меньше критического значения, и заканчивается до опускания в печь оледующей подачи.

4 Предложены показатели противотока шихты и газа, представляющие собой отношение числа молей атомарного кислорода, связанного с железом в шихте Fe_2O_3 и FeO или только FeO к количеству восстановительного газа, преимуществом которых в оравнении с другими показателями восстановления в ДП является возможность непооредотвенного оспоставления оо степенью использования восстановительной оспособности газов.

5 Для характеристики развития процессов восстановления оксидов железа по радиусу ДП предложен показатель равновесной степени прямого восстановления r_{d_0} , оаооытываемый при равновесном оооставе и фактическом выходе доменного газа.

6 Предложен графический метод определения фактических и равновесных значений степеней косвенного и прямого восста-

новления, основанный на сравнении длин вертикальных отрезков, соединяющих ось абсцисс и кривые радиального распределения показателей противотока, фактической и равновесной степеней использования восстановительной способности газов.

7 Переход от традиционных режимов загрузки ДП к подаче части кокоа в центр колошника сопровождается значительным сближением r_a и r_{a_0} в периферийной и промежуточной зонах. Резервом снижения расхода кокоа за счет подгрузки рудными материалами может служить зона, непосредственно окружающая осевую, где r_a и r_{a_0} значительно различаются.

8 Предложен критерий полноты протекания кооленного восстановления $K_{r_t} = 100(1-r_a)/(1-r_{a_{min}})$, представляющий собой степень приближения доли оксидов железа, восстановленных газами, к максимально возможной r_t .

9 При переходе от традиционной загрузки шихты к осевой загрузке части кокоа на ДП N 3 МК "Запорожсталь" (1986-1991г.г.) было достигнуто снижение приведенного расхода кокоа с 495 до 456 кг/т чугуна, увеличение степени использования восстановительной способности газа с 0,417 до 0,431 д. ед., уменьшение r_a , приведенной к сопоставимым по расходу природного газа значениям, с 0,1875 до 0,1627 д. ед.

10 Статистический анализ показателей работы ДП N 3 МК "Запорожсталь" за период с 1986 по 1990 г. показал, что доля влияния улучшения восстановительной работы доменного газа на снижение расхода топлива составила 8,0 %. По силе влияния на расход топлива этот фактор превзошел изменение нагрева дутья и жидких продуктов плавки.

11 В условиях МК "Азовсталь", для которого характерна многокомпонентная рудная шихта и работа ДП с развитым газо-

вым потоком в периферийной зоне, целесообразно к стенам ДП подавать легковосстановимый агломерат МК "Азовоталь" и МК им. Ильича, а трудновосстановимый агломерат ЮГОК и Камыш-Бурунской аглофабрики оледует подавать в район рудного гребня.

12 Применение для восстановления высокой интенсивности доменной плавки системы загрузки с подачей части кокса в центр колошника на ДП N 3 МК "Азовоталь" обеспечило снижение приведенного расхода кокса на 9 кг/т чугуна, увеличение суточного производства на 37 т чугуна. Экономический эффект от использования данного способа загрузки составил 48,8 тыс. грн.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

1. Исследование массообмена при потере стабильности граничащих зернистых олов / В.П. Тарасов, В.Б. Семакова, А.А. Томаш и др. // Сталь.-1991.- N 9.- С. 11-14.
2. Исследование влияния осевой загрузки кокса на восстановительную работу доменной печи / В.П. Тарасов, В.Б. Семакова, В.И. Набока и др.// Сталь.- 1995.- N 6.- С. 11-14.
3. Семакова В.Б., Булава В.Н., Сосновцев М.Н. Сравнение технико-экономических показателей работы доменных печей с однозначной загрузкой части кокса в осевую зону и с типовой системой загрузки // Теория и практика металлургических процессов. Сборник научных трудов.- Киев.- 1990. - С. 11-16.
4. Результаты исследований закономерностей противотока в зернистом олове применительно к условиям доменной плавки/ В.П. Тарасов, А.А. Томаш, В.Б. Семакова и др.// Тезисы докладов международной научно-технической конференции "Модели-

рование восстановительных процессов и их применение в металлургии".- Катовице.- 1991.- С. 52-59.

5. Тарасов В.П., Семакова В.Б., Тарасов С.В. Изменение распределения газовых потоков и восстановления оксидов железа при частичной загрузке кокса в осевую зону колошника //Тезисы докладов международной научно-технической конференции "Моделирование восстановительных процессов и их применение в металлургии".- Катовице.- 1991.- С. 32-51.

6. Тарасов В.П., Семакова В.Б. Статистическая оценка влияния восстановительных процессов на технико-экономические показатели доменной плавки// Тезисы докладов региональной научно-технической конференции.- Т. 1. "Металлургия".- Мариуполь.- 1992.- С. 11.

7. Тарасов В.П., Семакова В.Б. Влияние различных факторов на оптимальное значение r_{α} в условиях МК "Запорожсталь" // Тезисы докладов региональной научно-технической конференции.- Т. 1. "Металлургия".- Мариуполь.- 1992.- С. 12.

8. Изменение технико-экономических показателей работы доменных печей МК "Запорожсталь", оборудованных загрузочными устройствами с осевым технологическим отверстием в большом конусе при различных режимах загрузки / В.П. Тарасов, В.Б. Семакова, В.И. Набока и др. //Труды международной научно-технической конференции "Теория и технология аглодоменного производства".- Днепропетровск.-1995.- С. 34-35.

9. Тарасов В.П., Семакова В.Б. Анализ влияния режимов загрузки на соотношение фактической и равновесной степеней использования восстановительной способности доменного газа в различных радиальных зонах печи // Труды международной научно-технической конференции "Теория и технология аглодоменного производства".- Днепропетровск.-1995.-С.29-30.

ANNOTATION

Senakova V.B. Lowering Coke Consumption by Optimizing the Iron Reduction Processes in Blast Furnace.

The dissertation for the award of the degree of candidate of technical sciences on the speciality 05.16.02 - Metallurgy of ferrous metals, Priazov state technical University, Mariupol, 1996.

Nine research works devoted to the solution of actual problem of reducing the blast furnace coke consumption are defended. The dissertation consist of the results of experimental and analytical investigations of reduction processes along the b/f radius under different charging systems taking into consideration the process of "migration" of the iron containing materials into the fluid bed of coke at the axial zone. New indices of iron reduction processes in the counter current of charge and gas and new graphycal method for the determination of the rate of carbon reduction in different zones of the b/f were introduced. Statistical analysis based on multiple linear correlation were used to compare the indices of different periods of the b/f production. The results of the researches proved the advantages of the b/f centre coke charging. Method of restoring the high intensive b/f performance by charging part of coke directly to the top's centre and the charging method that entails the redistribution of ferrous containing materials with different ability to loss oxygen along the top's radius were introduced and realised.

Key words: reduction, reducibility, iron oxide, agglomerate, pellets, charging, coke, blast furnace.

АНОТАЦІЯ

Семакова В.Б. Зниження витрати кокоу за рахунок вдосконалення процесів відновлення заліза в доменній печі.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.02 - Metallurgy чорних металів, Призовський державний технічний університет, Маріуполь, 1996.

До захисту винесено 9 наукових робіт, які приов'язані вирішенню актуальної проблеми зниження витрати доменного кокоу. Дисертація містить результати експериментальних і аналітичних досліджень ходу відновних процесів по радіусу доменної печі при різних режимах завантаження, проведених з урахуванням явища перетоку рудних матеріалів до псевдозрідженого прошарку кокоу в центральній зоні, з використанням нових показників процесів відновлення окисів заліза і протитоку шихти і газу, застосовуючи новий графічний метод визначення значень ступеня прямого відновлення в різних радіальних зонах доменної печі. При зіставленні техніко-економічних показників доменної плавки в різні періоди застосований статистичний аналіз на основі множинної лінійної кореляції. Результати досліджень підтвердили перевагу технології доменної плавки з формуванням центральної технологічної віддушини. Запропоновані та реалізовані способи відновлення високої інтенсивності доменної плавки за рахунок подавання частки кокоу безпосередньо до центру колошника і способи завантаження доменних печей о перерозподілом по радіусу колошника залізородних матеріалів відмінної відновлюваності.

Ключові слова: відновлення, відновлюваність, окис заліза, агломерат, окотиші, завантаження, кокс, доменна піч.

Техн.редактор

Н.М.Помазкова

Подп.к печати 28.10.96 Офсетная печать. Тираж 100 Заказ № 995
ПГТУ, 341000, Мариуполь, пер.Республики,7

437190

AB 36.184