

ДОНЕЦКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ДОНЕЦКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ЗАВОД

На правах рукописи

ТЕРЕЩЕНКО В. П.

РАЗРАБОТКА, ИССЛЕДОВАНИЕ И ОСВОЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИИ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ
С ВДУВАНИЕМ В ГОРН ПЫЛЕУГОЛЬНОГО
ТОПЛИВА И ПРИРОДНОГО ГАЗА ПРИ
ОБОГАЩЕНИИ ДУТЬЯ КИСЛОРОДОМ

Специальность 05.16.02 — Metallургия
черных металлов

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

ДОНЕЦК — 1994

Диссертация является рукописью.

Работа выполнена в Донецком государственном техническом университете и на Донецком металлургическом заводе.

Научный руководитель — Академик ИА Украины, доктор технических наук, профессор Ярошевский С. Л.

Официальные оппоненты — доктор технических наук, профессор Андронов В. Н., кандидат технических наук Приходько Ю. А.

Ведущее предприятие — Днепропетровский металлургический комбинат им. Дзержинского.

Защита диссертации состоится 22 декабря 1994 г. в 12 часов в аудитории 353 пятого учебного корпуса на заседании специализированного совета Д. 068.20.01 при Донецком государственном техническом университете.

Адрес: 340000, Украина, г. Донецк, ул. Артема, 58.

С диссертацией можно ознакомиться в технической библиотеке Донецкого государственного технического университета.

Автореферат разослан 22 ноября 1994 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
доктор технических наук, профессор

В. С. САПИРО

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00777302 (Q)

В. Стефаніка
України

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Важнейшим и определяющим показателем доменной плавки является удельный расход кокса.

Данный показатель функционально определяет себестоимость чугуна, качество чугуна по содержанию серы и производительность печи.

В 60-х годах в Украине была успешно освоена технология выплавки чугуна с вдуванием природного газа (ПГ) на дутье обогащенном до 30-32% кислородом, позволившая снизить расход кокса на 10-20%, т. е. до 450-500 кг на 1 тонну чугуна.

Однако рост цен, острый дефицит природного газа, мазута, кокса в последние годы определили необходимость сокращения вдвое и более объемов используемого кислорода, снижения температуры дутья на 200-300°C, что способствовало соответственному ухудшению всех основных показателей плавки, в том числе повышению расхода кокса на 1 т чугуна до 600-700 кг.

Теоретические соображения, многолетний промышленный опыт Донецкого металлургического завода, зарубежный опыт показывают, что альтернативой применению комбинированного дутья на основе ПГ, может быть технология доменной плавки с максимальным использованием пылеугольного топлива (ПУТ). В отличие от ПГ, в Украине имеются огромные запасы низкотемпературных неспекающихся углей, пригодных для приготовления ПУТ. Потенциал эффективности ПУТ по замене кокса в 2-2,5 раза превосходит потенциал ПГ. При увеличении расхода ПУТ на 1 т чугуна до 100-200 кг на основе полной и комплексной компенсации нарушений технологии, определяемых вдуванием ПУТ, за счет сокращения расхода или прекращения вдувания ПГ, повышения параметров температурно-дутьевого режима, улучшения качества шихты, принципиально возможно снижение удельного расхода кокса до 200-300 кг при сохранении и улучшении других показателей плавки.

В качестве комплексного компенсирующего мероприятия при использовании ПУТ особую, качественно новую роль может выполнить технический кислород.

В новых технологических условиях наиболее целесообразно использование кислорода для интенсификации горения ПУТ с целью повышения его расхода на 1 т чугуна и эффективности использования, что, в конечном счете, обеспечит дополнительное снижение расхода кокса и повышение эффективности плавки.

Из изложенного следует высокая актуальность и перспективность технологии доменной плавки с вдуванием в горн ПУТ и ПГ на обогащенном кислородом дутье, теоретическое обоснование и промышленное освоение которой стали темой настоящей диссертационной работы.

Цель работы. Снижение удельного расхода кокса и природного газа на выплавку чугуна, сокращение выброса в атмосферу и водные источники вредных веществ за счет реализации технологии доменной плавки с вдуванием в горн ПУТ и ПГ на дутье, обогащенном кислородом.

Научная новизна:

— способ доменной плавки при вдувании в горн на 1 т чугуна 100-200 кг ПУТ при полной и комплексной компенсации негативного влияния горения ПУТ и снижения доли кокса в шихте на основные параметры технологического режима;

— обоснование норм компенсации температурно-теплового режима горна при использовании ПУТ из углей с различной зольностью;

— обоснование изменения степени прямого восстановления оксида железа (Γ^2) и черноты фурменной зоны при вдувании в горн ПУТ, и возможности уменьшения благодаря этому норм температурной компенсации;

— обоснование возможности и необходимости использования дополнительного кислорода для интенсификации сжигания ПУТ в фурменных зонах;

— способ компенсации теоретической температуры горения соответственным изменением расходов ПУТ и ПГ, обеспечивающим их равное влияние на температуру;

— способы интенсификации сжигания ПУТ и процесса десульфурации чугуна введением в фурменную зону в составе ПУТ азотнокислого аммония и шлакообразующих добавок.

Обоснованность и достоверность научных положений выводов и рекомендаций подтверждена результатами:

— расчетов параметров технологических режимов доменной плавки с применением ПУТ и ПГ на дутье, обогащенном кислородом;

— высокой сходимостью расчетных показателей с результатами опытно-промышленных плавок;

— количественных исследований процесса горения ПУТ по длине фурменной зоны при различном содержании кислорода в дутье;

— материально-тепловых и зональных балансов, подтвердивших благоприятные изменения технологических параметров и высокую эффективность использования ПУТ на дутье, обогащенном кислородом;

— промышленного внедрения разработанной технологии на доменных печах № 1 и 2 ДМЗ.

Практическое значение и реализация результатов работы определяется тем, что в ней решены следующие задачи: теоретически обоснованы и рассчитаны оптимальные технологические режимы доменной плавки на дутье, обогащенном кислородом, с вдуванием в горн ПУТ и ПГ.

Впервые в мировой практике разработана и внедрена технология доменной плавки с вдуванием в горн ПУТ и ПГ на дутье, обогащенном кислородом, позволившая снизить расход кокса на 1 т чугуна на 25-30 %, сохранить на базовом уровне или улучшить другие показатели доменной плавки. Экономический эффект от внедрения указанной технологии составил на 1 млн. т чугуна 1.3 млн. руб. (в ценах 1989 г.). Основные положения разработанной технологии использованы в технологической инструкции «Производство чугуна» (ТИ 234-Д-01-88).

Апробация работы. Материалы диссертации доложены и обсуждены на XXXIII ежегодной конференции горно-металлургической академии, г. Фрайберг, Германия, июль 1992 г.; международном симпозиуме на Донецком металлургическом заводе, декабрь, 1992 г.; XI-й ежегодной конференции по углю, г. Питсбург США, сентябрь 1994 г.; научных семинарах в отделе металлургии чугуна Донничермета, ноябрь, 1994 г., на кафедре «Руднотермические процессы и малоотходные технологии» ДонГТУ, ноябрь, 1994 г., на кафедре «Металлургия черных металлов» Донбасского горно-металлургического института, технических семинарах на Донецком, Енакиевском, Днепропетровском им. Петровского металлургических заводах, Макеевском и Алчевском металлургических комбинатах; на совещаниях в Минпроме Украины.

Публикации: по материалам диссертации опубликовано 9 статей в технических журналах и сборниках, 1 книга, получено 8 авторских свидетельств СССР на изобретения, 2 патента.

Структура и объем работы: диссертация изложена на 160 страницах машинописного текста, состоит из введения, 5 глав,

общих выводов, библиографического списка из 112 источников, приложений, содержит, кроме текста, 28 таблиц и 29 рисунков.

При непосредственном творческом участии автора (и его руководстве) по теме диссертационной работы выполнено 9 бюджетных и хоздоговорных тем, которые получили практическое внедрение. Личный вклад автора заключается в самостоятельном развитии основных принципиальных решений, разработке методики расчета показателей и программ проведения опытно-промышленных плавки и производственных экспериментов, непосредственном участии в разработке и внедрении изобретений, реализующих теоретические исследования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ДУТЬЯ, ОБОГАЩЕННОГО КИСЛОРОДОМ СОВМЕСТНО С ПРИРОДНЫМ ГАЗОМ (ПГ) И ПЫЛЕУГОЛЬНЫМ ТОПЛИВОМ (ПУТ)

Изучение опыта применения ПГ совместно с ПУТ на атмосферном и обогащенном кислородом дутье позволило установить основные закономерности изменения технологического режима, наметив пути дальнейшего значительного повышения эффективности применения комбинированного дутья высоких параметров прежде всего на основе максимального повышения расхода низкочастотного ПУТ. Проведенный анализ позволил сформулировать основные задачи исследования.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПРИ ВДУВАНИИ В ГОРН ПГ И ПУТ НА ДУТЬЕ, ОБОГАЩЕННОМ КИСЛОРОДОМ

Уточнены нормы температурной компенсации горна при вдувании ПУТ, оценены предельные расходы ПУТ для разных технологических условий, рассчитаны основные показатели оптимального технологического режима при вдувании в горн ПУТ и ПГ на дутье, обогащенном кислородом.

2. 1. *Аналитическое исследование влияния технологических параметров на нагрев горна, компенсация вдувания в горн ПУТ.*

Известна зависимость теоретической температуры горения, необходимой для сохранения на базовом уровне температуры продуктов плавки от технологических факторов. При вдувании ПУТ близкого по химическому составу к коксу, изменение необходимой теоретической температуры горения определяется снижением

степени прямого восстановления (τ_{Γ}). Расчеты показывают, что снижение величины τ_{Γ} на 2-4%, сопутствующее вдуванию в горн на 1 т чугуна 100 кг ПУТ из концентрата тощего угля, определяет снижение необходимой теоретической температуры на 20-40°C, т. е. на указанную величину может быть сокращена норма температурной компенсации на вдувание в горн ПУТ.

Важным, не учитываемым до сих пор фактором, благоприятно влияющим на теплообмен в фурменной зоне при вдувании ПУТ, является повышение излучательной способности продуктов сгорания.

Степень черноты ϵ_{Γ} , определяющаяся оптической толщиной твердых частиц в фурменной зоне τ_{Γ} и оптической толщиной излучающего газа τ_{Γ} равна

$$\epsilon_{\Gamma} = 1 - e^{-(\tau_{\Gamma} + \tau_{\Gamma})} \quad (1)$$

или

$$\epsilon_{\Gamma} = 1 - e^{-\tau_{\Gamma}(1 - \epsilon_{\Gamma})}, \quad (2)$$

где ϵ_{Γ} — эффективная степень черноты излучающего газа, определяемая наличием в нем трехатомных газов.

Оптическая плотность излучения твердых частиц определяется из выражения:

$$\tau_{\Gamma} = K \times F \times \gamma \times l, \quad (3)$$

где F — удельная поверхность частиц ПУТ, м²/кг;

γ — концентрация пыли в излучающем объеме, кг/м³;

l — толщина слоя в направлении луча, м;

K — коэффициент ослабления, учитывающий полидисперсность пыли, различную излучательную способность разных частиц (пыли, золы) и т. п.

При вдувании в доменную печь 100 кг/т чугуна ПУТ с удельной поверхностью 0,3 м²/кг величина $\tau_{\Gamma} = 0,95-1,0$. Тогда по формуле (2) получаем $\epsilon_{\Gamma} \approx 0,11$. В отсутствие ПУТ $\epsilon_{\Gamma} \approx 0,10$.

Следовательно

$$t_1 = t_0 \sqrt{\frac{\epsilon_{\Gamma}}{\epsilon_{\Gamma}}} \approx 0,98 t_0 \quad (4)$$

Таким образом, благодаря повышению степени черноты фурменной зоны при вдувании ПУТ сохранение заданной температуры продуктов плавки может быть обеспечено при снижении теоретической температуры горения 35-45°C.

В расчетах теоретической температуры горения по общепринятым методикам не учитываются потери тепла, выделяемого ПУТ, на перегрев золы, существенно изменяющиеся в зависимости от химического состава топлива. Указанная неточность приводит к получению противоречивых результатов.

Указанный недостаток в определенной мере учтен в методике расчета теоретической температуры горения, предложенной профессором Е. Ф. Вегманом.

Рассчитанная по данной методике норма температурной компенсации для зольных углей возрастает в 1,75 раза т. е. от 73 до 130°С. Следовательно, для эффективной реализации режима с вдуванием зольного ПУТ необходимо практически вдвое большее сокращение расхода природного газа, чем это следовало из расчета по общепринятым методикам, что дополнительно уменьшит величину коэффициента замены на 0,1-0,15 кг и, соответственно — эффективность доменной плавки.

Вдувание в горн низкозольного ПУТ определяет изменение восстановительных процессов и процессов в фурменных зонах, определивших соответственное снижение необходимой теоретической температуры горения на (20-40) + (35-45)°С. Таким образом, обязательной компенсации подлежит разность снижения указанных выше теоретической температуры горения (70-100°С) и необходимой теоретической температуры горения (55-85 °С), составляющая 15°С на 100 кг ПУТ.

Указанные нормы компенсации существенно ниже известных ранее. Из изложенного следует также, что оптимизацию температурного режима в фурменных зонах наиболее эффективно осуществлять соответственным изменением расхода ПГ.

2. 2. Аналитическое исследование процесса горения ПУТ в фурменных зонах. Скорость горения угольной частицы при нормальном давлении в диффузионном режиме без золотого слоя можно определить по уравнению:

$$\tau_{ГК} = \frac{100 - A_K^c}{100} \times \frac{P \cdot k_0^{2,2} \cdot 100}{8 \cdot \delta \cdot D_0 \left[\frac{T_{Г}}{273} \right]^{n-1} \cdot 1,43 \cdot O_2} \quad (5)$$

где O_2 — объемная концентрация кислорода в газе, %;

δ_0 — начальный диаметр частицы ПУТ;

D_0 — коэффициент диффузии.

По формуле выполнены расчеты зависимости времени сгора-

ния частиц тощего угля ($A_k^c=8\%$, $P_k=1150 \text{ кг/м}^3$) от концентрации кислорода при различных размерах частиц и температуре газовой среды; величина коэффициента $\theta = 0,375$.

Результаты расчетов свидетельствуют о том, что решающее влияние на скорость сгорания ПУТ оказывает величина размера частиц топлива: независимо от других технологических условий снижения тонины помола ПУТ от 80 до 40 микрон определяет сокращение времени выгорания в 4 раза.

Повышение содержания кислорода в дутье от 21 до 40% обеспечивает сокращение времени горения частиц ПУТ от 1,78-6,62 до 0,93-3,36 микросекунды, т. е. примерно в два раза, во всем диапазоне исследованных параметров, т. е. является одним из определяющих скорость сгорания ПУТ параметров.

Для технологических условий доменных цехов Украины ($\omega = 21-30\%$) максимальный расход ПУТ на 1 т чугуна при условии исключения вдувания в горн ПГ равен 120-180 кг.

2. 3. *Расчет технологических режимов при вдувании в горн ПУТ и ПГ и обогащении дутья кислородом.* Для оценки эффективности различных технологических мероприятий на основе методики профессора А. Н. Рамма разработана методика расчета основных технико-экономических показателей доменной плавки с использованием ЭВМ ЕС-1033.

Для оценки эффективности применения низкосолевого ПУТ, приготовленного из углей марок «Т» и «СС» при работе доменных печей на подготовленном сырье и комбинированном дутье высоких параметров были выполнены расчеты для шести металлургических предприятий, полностью представляющих гамму технологических условий доменных цехов СНГ.

Расчеты показывают, что вдувание в горн пылеугольного топлива в количестве 100 кг/т чугуна при работе доменных печей в современных технологических условиях определило снижение расхода кокса на 61-73 кг/т чугуна (13,8-14,2%), условного топлива — на 6-22 кг/т чугуна и расхода природного газа на 25-40 м³/т чугуна.

Для условий ДМЗ (высокая стоимость кислорода, ограничение объемного его расхода 8 тыс. м³/ч на одну печь, ограничение массового расхода пылеугольного топлива — 120 кг/т чугуна, низкое качество железорудной шихты и т. д.) выполнены расчеты эффективности применения обогащенного кислородом дутья, исходя из условия компенсации дополнительного кислорода ПГ (100%), ПГ + ПУТ — (50+50%), ПУТ (100%), и в режиме

перекомпенсации, предопределяющем вдувание в горн ПУТ как на дополнительный кислород, так и на дополнительное снижение объемного расхода природного газа.

Из приведенных данных следует, что наиболее эффективным вариантом доменной плавки, обеспечивающим использование дутья, обогащенного кислородом до 27 %, является вариант ПГ+ПУТ (50+50) %. В данном варианте обеспечены практически максимальные прирост производства и снижение расхода кокса, высокая суточная эффективность работы доменной печи, минимальное изменение расхода условного топлива.

Варианты с компенсацией дополнительного кислорода природным газом в условиях ДМЗ убыточны.

Исходя из выполненных расчетов для реальных условий доменной плавки на ДП № 1 и 2, освоивших уровень обогащения дутья кислородом 25-26 % расходы ПГ и ПУТ соответственно равны (70-90) м³ и (80-100) кг на 1 т чугуна.

3. РАЗРАБОТКА И ОСВОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ С ВДУВАНИЕМ В ГОРН ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА И ПРИРОДНОГО ГАЗА ПРИ ОБОГАЩЕНИИ ДУТЬЯ КИСЛОРОДОМ

Промышленное внедрение на Довецком металлургическом заводе технологии доменной плавки с вдуванием на 1 т чугуна 80-100 кг ПУТ и 60-80 м³ ПГ на дутье, обогащенном кислородом до 26 % позволило снизить расход кокса до 400 кг/т чугуна и ниже, повысить долю кокса, заменяемого дополнительными видами топлива до 30 %, обеспечить прирост производительности печей на 1,6-1,8 % на каждый дополнительный процент кислорода в дутье.

3.1. Исследование процесса горения пылеугольного топлива.

Исследования процесса горения пылеугольного топлива по длине фурменной зоны выполнили по оригинальной методике, заключающейся в отборе проб порошкообразных материалов из фурменной зоны с помощью водоохлаждаемого зонда, причем на входе в зонд отбираемые газы и материалы интенсивно охлаждались водой. В ходе проведения экспериментов параметры температурно-дутьевого режима изменялись в следующих пределах: расход ПУТ и ПГ — 0-100 кг/т чугуна и 60-100 м³/т чугуна, соответственно; содержание кислорода в дутье: 21-26 %.

Исследованиями показано, что при обогащении дутья кислородом до 26 % и вдувании на 1 т чугуна 100 кг пылеугольного

топлива протяженность зоны горения угля сокращается от 500 до 250 мм, что создает значительный резерв температурно-кислородного потенциала горна, предопределяющий возможность дальнейшего повышения расхода пылеугольного топлива.

3. 2. *Опыт работы доменных печей с вдуванием пылеугольного топлива и природного газа при обогащении дутья кислородом.*

В сложившихся шихтовых и технологических условиях оптимальный удельный массовый расход пылеугольного топлива на 1 т чугуна составил 65-85 кг. При таком расходе ПУТ коэффициент замены кокса ПУТ составил 0,71-1,0 кг/кг. Оптимальный объемный расход природного газа при указанном массовом расходе пылеугольного топлива и обогащении дутья кислородом до 23-26 % составил на 1 т чугуна 60-80 м³, что соответствует уровню теоретической температуры горения 2000±50 °С.

Оптимальный уровень интенсивности плавки по углероду составил 0,85±0,03 т/м³ сут.

Оптимальный уровень нагрева горна, обеспечивающий минимальный и устойчивый удельный расход кокса при высоких производительности печи и качестве чугуна, обеспечивается при удельном массовом содержании кремния в чугуне 0,7-0,9 %, отвечающим его высокому физическому нагреву — 1450-1470 °С.

Проведенные в 1982-1986 гг. исследования и опытно-промышленные плавки показали, что лимитирующим звеном разрабатываемой технологии является газодинамический режим плавки.

В связи с этим были приняты меры по устранению данного недостатка. В первую очередь этому способствовало обогащение дутья кислородом до 24,5-26,0 % и соответственное (-12,5 %) снижение выхода горновых газов на 1 т чугуна, что определило снижение скоростей газов в определяющей зоне печи. Решающее влияние на стабилизацию газодинамического режима плавки оказали также снижение в шихте доли агломерата из резерва до 0-10 %, основности шлака (CaO/SiO_2) до 1,2-1,28, расходов шлака силикомарганца и известняка, оптимизация сновных параметров технологического режима (системы загрузки шихты, расходов ПГ и уровня теоретической температуры, интенсивности плавки, нагрева горна и т. д.). Решение указанных и других вопросов позволило провести опытно-промышленные плавки и внедрить технологию с повышенным расходом ПУТ (80-100 кг/т чугуна) и природного газа на дутье, содержащем 23-26 % кислорода.

3. 3. *Материально-тепловые балансы доменной плавки при замене 30 % кокса дополнительными видами топлива.* Для обработки оптимального режима и оценки его эффективности на ДП № 1 (Vп 1033 м³) ДМЗ в изменившихся технологических условиях проведены опытно-промышленные и балансовые плавки.

Расчеты материально-тепловых и зональных балансов выполнены по методике профессора А. Н. Рамма

Результаты обработки данных балансовой плавки показали, что при повышении расхода ПУТ от 0 до 100 кг на т чугуна расход кокса снижался равномерно при средней величине коэффициента замены 0,98 кг/кг. При этом расход природного газа снижался в среднем на 0,26 м³/т ПУТ, температура дутья возросла на 21-26 °С, что обеспечило сохранение теоретической температуры горения в оптимальных пределах. Расход условного топлива на 1 т чугуна существенно — на 1,1-10,6 % — снизился.

Дополнительное снижение расхода кокса от применения ПУТ составило в опытных периодах 34,2-97,0 кг/т чугуна (7,4-21,0 %).

Общее же снижение расхода кокса на 1 т чугуна от вдувания в горн ПУТ + ПГ — 118,2-163,2 кг (20,2-29,8 %). При вдувании в горн на 1 т чугуна 100 кг ПУТ суммарное снижение расхода кокса составило 165 кг (30,5 %).

Производительность доменной печи и качество чугуна при вдувании в горн ПУТ изменились незначительно.

Приход водорода на 1 т чугуна, на 95 % определяющийся поступлением его с топливом (кокс + ПГ + ПУТ), сократился на 19,16-28,78 м³ (1,7-11,5 %) прежде всего за счет сокращения расхода природного газа. Соответственно приход водорода с ПУТ повысился от 0,41 до 17,98-43,41 м³ (8,11-18,7 %).

Приход серы с шихтой существенно повысился — + 0,45, + 0,69 кг/т чугуна (4,5-7,7 %), что непосредственно связано с применением ПУТ, содержащего большее ее количество, чем кокс. Приход серы с ПУТ повысился на 0,9-1,71 кг/т, а с ПУТ и коксом — на 0,44-0,56 кг/т чугуна (+5,0-6,4 %). С колошниковым газом и пылью из печи удаляется 4,47-6,3 % серы.

Процесс восстановления оксидов железа характеризовался прежде всего значительным негативным изменением — сокращением выхода восстановительных газов на единицу чугуна на 9,5-17,1 %. Однако снижение доли кокса в шихте и повышение в нем доли железорудных материалов и оксидов железа способствовали значительному увеличению времени контакта восстановительных газов с оксидами железа в зоне замедленного теплообмена — 0,02-0,07 с или + 6,1-24,0 %. Указанные изменения поз-

волили сохранить в опытных периодах показатель степени прямого восстановления оксидов железа (α) на уровне базового периода.

Значительное повышение рудных нагрузок, снижение выхода восстановительных газов при некотором повышении теоретической температуры горения (+ 34-52 °С) и сохранении стабильного технологического режима и ровности схода шихты способствовали интенсификации теплообменных процессов: об этом свидетельствуют повышение коэффициента использования тепловой энергии углерода и, как следствие, существенное снижение расхода условного топлива: 4,9-61,6 кг/т чугуна (0,86-10,6 %).

Зональные тепловые балансы доменной плавки с применением и без применения пылеугольного топлива показали, что существенное снижение доли кокса в шихте, определенное прежде всего применением ПУТ, способствовало снижению температуры газов и шихты во II, III и IV тепловых зонах (1500-1200, 1200-900, 900 °С и меньше) снижению в данных зонах разности между температурой шихты и газов, что может быть расценено как благоприятные изменения, свидетельствующие о большей степени завершения теплообмена в шахте печи.

Высокая эффективность и устойчивость технологического режима с дуванием в горн ПУТ + ПГ при обогащении дутья кислородом подтверждается также 8 месячным промышленным опытом работы доменной печи № 1 в 1989 г., когда среднемесячный расход кокса на 1 т чугуна (балансовый) составил 360-417 кг при суточной производительности 1706-2026 т.

Приведенный выше анализ показал, что даже в неблагоприятных шихтовых и технологических условиях и при достаточно ограниченном температурно-кислородном потенциале горна комплексный подход к вопросу компенсации негативных изменений температурного, теплового, газодинамического и шлакового режимов плавки, определяемых горением ПУТ и снижением доли кокса в шихте, позволил заменить дополнительными видами топлива (ПГ + ПУТ) до 30 % кокса.

Имеющиеся теоретические разработки, отечественный и зарубежный опыт подтверждают принципиальную возможность создания технологии, задачами которой могут быть замена ПУТ до 40-50 % кокса и снижение его удельного расхода на 1 т чугуна до 200 кг и ниже, снижение общего расхода топлива на производство чугуна (в единицах условного топлива) на 10-20 % от базового уровня.

Принципиальными особенностями такой технологии должны стать:

— использование для приготовления и вдувания ПУТ современных комплексов 3-4 поколений, принципиальной основой которых может быть работающая с 1980 г. Донецкая промышленная установка;

— применение низкочольного (до 5-10 %), низкосернистого (0,5-1,5 %), сухого (0,2-0,5 %) и тонкоизмельченного (ниже 0,1 мм) ПУТ, приготовленного из неспекающихся марок углей (Т, А, Г, СС) и др.;

— обеспечение полной и комплексной компенсации негативных изменений технологического режима, определяемых горением ПУТ и снижением доли кокса в шихте, выводом из состава дутья ПГ, повышением параметров дутья (0,2, 1д), улучшением качества железорудной части шихты, кокса и ПУТ;

— обеспечение полного сгорания в фурменных зонах на 1 т чугуна до 200 кг ПУТ на основе высокого кислородного потенциала фурменных зон ($T_{\text{тср.}} = 2800-3000^{\circ}\text{C}$).

4. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ И МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ПЛАВКОЙ ПРИ РАБОТЕ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ С ВДУВАНИЕМ В ГОРН ПУТ И ПГ

В период освоения технологии доменной плавки с применением ПУТ и ПГ на дутье, обогащенном кислородом, возникла необходимость существенно повысить суточную производительность пылеугольного комплекса, ужесточить требования к управлению потоком ПУТ во времени и по фурмам.

Решению поставленных задач в значительной мере способствовала разработка и частичное внедрение на доменных печах ДМЗ и промышленной установке вдувания ПУТ ряда новых технических решений. Основными из них являются:

— запорно-регулирующий элемент аэрационного питателя выполнен в виде имеющей возможность поворота втулки длиной 3-10 для загрузочного окна с калиброванными отверстиями в боковой стенке и жестко закрепленной на полом штоке;

— способ заполнения дозирующей емкости, отличающийся тем, что во время заполнения дозирующей емкости из нее выпускают отработанный воздух в количестве, равном расходу сжатого воздуха на аэрирование, а минутный расход воздуха на аэрирование поддерживают равным объему промежуточной емкости;

-- дутьевая фурма доменной печи, отличающаяся тем, что с целью повышения смешения и полноты сгорания топлива в пределах фурменного очага, выходной конец трубки выполнен в виде газоструйного свистка, отверстие которого обращено к оси рабочего канала.

Для улучшения условий десульфурации чугуна в горне печи, интенсификации сжигания ПУТ в фурменных зонах предложены способы доменной плавки при которых:

— шлакообразующие добавки вводят после закрытия чугунной летки совместно с пылеугольной добавкой в течение 10-20 % времени между выпусками чугуна в количестве 10-100 кг/т чугуна при соотношении компонентов 1 : (0,4-0,8);

— в качестве катализатора горения ПУТ используют азотнокислый кальций или азотнокислый аммоний при соотношении расхода ПУТ к азотнокислему кальцию или азотнокислему аммонiu в пределах 1 : (0,05-0,14) и расход смеси 100-600 на т чугуна.

Реализация части предложенных технических решений в процессе освоения технологии доменной плавки с вдуванием в горн ПУТ и ПГ на дутье, обогащенном кислородом, позволила в 1989 г. повысить среднемесячный расход ПУТ до 70-80 тыс. т при сохранении высокого уровня производительности доменных печей (1750-1900 т/сут) и качества выплавляемого чугуна.

5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИИ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ С ВДУВАНИЕМ. В ГОРН ПУТ И ПГ НА ДУТЬЕ, ОБОГАЩЕННОМ КИСЛОРОДОМ

При замене пылеугольным топливом 1 млн. т кокса и соответственном сохранении объема его производства выброс в атмосферу вредных веществ уменьшится на 7094 т в том числе сероводорода на 2324 т, сернистого ангидрида — 1091 т, оксида углерода — 458 т, аммиака — 304 т, угольной пыли — 2660 т, оксида азота — 160 т, фенола — 87 т, синильной кислоты — 10 т.

Выброс вредных веществ с недоочищенными промышленными стоками (0,4-0,5 млн. м³ на 1 млн. т кокса) в водные бассейны и источники уменьшатся на 250-1020 т.

В то же время производство одного млн. т ПУТ сопровождается на один — два порядка меньшим выбросом в атмосферу вредных веществ.

Экономический эффект от улучшения экологической обстановки в металлургических регионах при замене ПУТ 1 млн. т кокса равен 6 млрд. руб (в ценах июля 1994 г.).

Фактическая эффективность нового технологического режима рассчитывалась по приведенным к равным условиям среднегодовым показателям расхода кокса и производительности печи. Результаты расчета показывают, что в условиях ДП № 1 ДМЗ увеличение расхода кислорода на 21,2 м³/т ($\approx 1,4-1,5\%$) позволило повысить расход ПУТ на 23 кг/т, ПГ — на 9 м³/т, что определило прирост производительности печи на 11,5 т/сут (4,2 тыс. т/год), снижение расхода кокса на 45,4 кг/т (28,6 тыс. т/год), снижение себестоимости чугуна на 835 тыс. руб/год или 1,3 млн. руб на 1 млн. т чугуна (в ценах 1989 г.).

О Б Щ И Е В Ы В О Д Ы

1. Длительный опыт (1968-1993 гг.) использования ПУТ совместно с природным газом на Донецком металлургическом заводе, зарубежный опыт 1983-1994 гг. показывают, что применение ПУТ совместно с горячим дутьем, умеренно обогащенным кислородом, может обеспечить замену природного газа и до 30-50 % кокса при сохранении на базовом уровне или улучшении других технологических показателей плавки.

Основой такой технологии является полная и комплексная компенсация негативных изменений технологического режима, определяемых горением ПУТ и снижением доли кокса в шихте.

2. На основе технологии доменной плавки с применением низкосолевого ПУТ в сочетании с полной и комплексной компенсацией негативных изменений технологического режима за счет повышения параметров дутья и улучшения качества железорудного сырья, как показывают теоретические расчеты, принципиально возможно снижение расхода кокса на выплавку 1 т чугуна до 200-300 кг.

3. Развитие технологии доменной плавки с вдуванием больших количеств низкосолевого ПУТ требует нового подхода в оценке роли таких традиционных компонентов комбинированного дутья, как природный газ и кислород.

В новых технологических условиях важнейшая роль кислорода должна состоять не в интенсификации процесса выплавки чугуна, а в обеспечении условий полного сгорания пылеугольного топлива в фурменных очагах.

Вдувание в горн природного газа может быть целесообразным только для решения задач оптимизации температурного режима горна.

4. Расчитанная по методике профессора Е. Ф. Вегмана норма температурной компенсации для низкосольных и сольных углей возрастает от 73 до 130 °С. Поэтому для эффективной реализации режима с вдуванием сольного ПУТ необходимо практически вдвое большее сокращение расхода природного газа, что уменьшит величину коэффициента замены на 0,1-0,15 кг и, соответственно, эффективность применения ПУТ.

Приведенные данные раскрывают новые существенные технологические особенности и экономические преимущества использования для вдувания в домечные печи низкосольного ПУТ.

5. Снижение величины γ_2 на 2-4 % при вдувании в горн на 1 т чугуна 100 кг ПУТ из концентрата тощего угля определяет снижение необходимой теоретической температуры на 20-40 °С. При вдувании пылеугольного топлива за счет повышения степени черноты фурменной зоны и интенсификации теплообмена сохранение заданной температуры продуктов плавки может быть обеспечено при снижении необходимой теоретической температуры горения на 35-45 °С.

Следовательно обязательной температурной компенсации подлежит разность снижения теоретической температуры горения от вдувания ПУТ (70-100 °С) и необходимой теоретической температуры горения (55-85 °С), составляющая 15 °С на 100 кг ПУТ.

6. В технологических условиях ДМЗ наиболее эффективным вариантом технологии, обеспечивающим использование дутья, обогащенного кислородом до 27 %, является вариант, при котором образующийся избыток температуры горения компенсируется равными долями за счет соответственного увеличения расхода ПУТ и ПГ. В данном варианте обеспечены практически максимальные прирост производительности печей и снижение расхода кокса, высокая суточная эффективность работы доменной печи, минимальное изменение расхода условного топлива и почти максимальное снижение приведенных затрат (в ценах 1989 г.).

Варианты с компенсацией дополнительного кислорода природным газом в условиях ДМЗ убыточны.

7. Обогащение дутья кислородом от 22,5 до 25-26 % на доменной печи № 1 ДМЗ сопровождалось увеличением расхода пылеугольного топлива на 4,9-13,7 кг/т чугуна и природного газа на 13,9-27,8 м³/т чугуна. Суточная производительность доменной печи при этом повысилась на 97,5-99,2 т, что составило 1,6-1,8 % на 1 % прироста кислорода. Расход кокса на 1 т чугуна сократился на 74,4 кг (16,5 %), условного топлива — на 15,7-28,9 кг

(2,8-5,7 %). Непосредственным повышением расхода дополнительных видов топлива снижение расхода кокса определено на 25-33,7 кг (5,6-7,5 %).

Изменение основных показателей технологического режима — выхода горновых газов на 1 т. чугуна, температуры и химического состава колошниковых газов, выноса колошниковой пыли, свидетельствуют об улучшении устойчивости и эффективности технологического режима при обогащении дутья кислородом, что обеспечило дополнительное снижение расхода кокса и условного топлива. Годовой экономический эффект от освоения технологии составил 1,3 млн руб. на 1 млн. т выплавляемого чугуна (в ценах 1989 г.).

Основные положения и выводы диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Бабич А. И., Ярошевский С. Л., Терещенко В. П.: Интенсификация использования пылеугольного топлива в доменной плавке. — Киев: Техніка, 1993. — 200 с.

2. Технология выплавки передельного чугуна с вдуванием в горн природного газа и пылеугольного топлива при обогащении дутья кислородом / С. Л. Ярошевский, В. П. Терещенко, В. А. Ноздрачев и др. // Черная металлургия: Бюл. науч.-техн. информ.: — 1991. — Вып. 2. — С. 1—21.

3. Десятилетний опыт работы доменных печей с вдуванием пылеугольного топлива / В. П. Терещенко, В. А. Ноздрачев, С. Л. Ярошевский и др. // Сталь. — 1992. — № 1. — С. 6—11.

4. Технический прогресс в доменном производстве / В. П. Терещенко, С. Л. Ярошевский, В. А. Ноздрачев и др. // Сталь: — 1992. — № 6. — С. 9—12.

5. Терещенко В. П., Ярошевский С. Л., Ноздрачев В. А.: Опыт промышленного освоения доменной плавки с вдуванием в горн пылеугольного топлива и природного газа на Донецком металлургическом заводе // Neue Hutte. — 1992. — № 9. С. 334-339.

6. Ярошевский С. Л., Терещенко В. П., Ноздрачев В. А.: Научные основы технологии доменной плавки с заменой 20-30 % кокса пылеугольным топливом // Neue Hutte. — 1992. — № 9. — С. 328—333.

7. Выплавка литейного чугуна с применением пылеугольного топлива и природного газа / С. Л. Ярошевский, В. В. Степанов, Л. З. Суплин, В. П. Терещенко и др. // Металлургическая и гор-

нородная промышленность. — 1976. — № 6. — С. 77—78.

8. Влияние пылеугольного топлива на температуру и химический состав чугуна / С. Л. Ярошевский, В. П. Терещенко, Г. Е. Нехаев и др. // Сталь. — 1979. № 5. — С. 328—332.

9. Оценка коэффициента замены кокса пылеугольным топливом / С. Л. Ярошевский, В. П. Терещенко, З. И. Либерова и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. — 1981. — № 1. — С. 2—5.

10. А. с. 565867 СССР, МКИ В G 53/14. Эжекторное устройство для транспортирования жидких и сыпучих материалов / А. А. Антонов, В. П. Терещенко, Л. З. Суплин. — Оpubл. 25. 07. 77. Бюл. № 27.

11. А. с. 617475 СССР, МКИ С 21 В 5/00. Способ доменной плавки / Г. А. Воловик, А. С. Кандирал, В. Х. Кацман, В. И. Котов, К. И. Котов, В. В. Малый, Е. Н. Складановский, В. В. Степанов, Л. З. Суплин, В. П. Терещенко. // — Оpubл. 30. 07. 78, Бюл. № 28.

12. А. с. 768729 СССР, МКИ В 65 G 53/40. Питатель угольной пыли / А. А. Антонов, В. С. Новиков, В. П. Терещенко. — Оpubл. 07. 10. 80, Бюл. № 37.

13. А. с. 933709 СССР, МКИ С 21 В 7/16. Питатель для подачи угольной пыли в доменную печь / В. И. Мачикин; Н. Т. Лифенко, С. Л. Ярошевский, А. А. Ярмаль, А. И. Рябенко, А. М. Камардин, В. П. Терещенко, В. В. Степанов. — Оpubл. 07. 06. 82, Бюл. № 21.

14. А. с. 734285 СССР, МКИ С 21 В 3/00. Способ доменной плавки / С. Л. Ярошевский, Н. Н. Попов, В. Н. Андронов, И. М. Гриненко, А. М. Камардин, В. П. Терещенко и др. — Оpubл. 15. 05. 80, Бюл. № 18.

15. А. с. 850667. СССР, МКИ С 21 В 7/16. Дутьевая фурма доменной печи / А. М. Спирын, Е. Н. Складановский, В. П. Терещенко и др. — Оpubл. 30. 07. 81, Бюл. № 28.

16. А. с. 863649 СССР, МКИ С 21 В 7/16. Устройство для вдувания угольной пыли в гори доменной печи / А. А. Антонов, В. С. Новиков, В. П. Терещенко. — Оpubл. 15. 09. 81. № 34.

17. А. с. 736635 СССР, МКИ С 21 В 3/02. Способ заполнения дозирующей емкости / С. Л. Ярошевский, А. И. Рябенко, Е. А. Данилин, А. А. Ярмаль, А. М. Камардин, Г. Е. Нехаев, В. П. Терещенко, Ю. И. Бать. — Оpubл. не подлежит.

Терещенко В. П. «Розробка, дослідження і освоювання технології доменної плавки з вдунанням в горно пилевугільного палива і природного газу при збагаченні дуття киснем».

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05. 16. 02 — металургія чорних металів. Донецький державний технічний університет і Донецький металургійний завод, Донецьк, 1994 р. Рукопис 160 с., (28 табл., 29 мал., бібліогр. із 112 назв).

Утримує наслідки теоретичного обґрунтування, дослідження і промислового упровадження технології доменної плавки з вдунанням в горно на 1 т чавуну до 100 кг пилевугільного палива сумісно з природним газом на дуття, збагачене киснем.

Встановлено, що: освоювання нового технологічного режиму дозволило замінити в рахунок додаткових видів палива 25-30 % коксу, підвищити продуктивність печі на 1,6-1,8 % на кожній додатковій % кисню; зберегти або поліпшити якість чавуну. Ефективність розробленої технології — 1,3 млн. крб на 1 млн. т чавуну (ціна 1989 року).

Ключеві слова: технологія доменної плавки, витрати коксу, пилевугільне паливо, природний газ, збагачене киснем дуття, комплексу компенсація, коефіцієнт заміни, ефективність використання комбінованого дуття, приведені витрати.

.Tereshchenko V.P. Development, investiation, and adoption of blast furnace operation with pulverized coal /PC/ AND natural gas/NG/ under oxygen enrichment of blast. Dissertation for the scientific degree of Candidate of Science /Eng/ Speciality 05.16.02- ferroous metals metallurgy. Donetsk State University of technology, Donetsk, 1994, manuscript 160p., 28 tables, 29 figures, bibliography-112 titles.

There are results of teoretical substantiation investigation and industrial adoption of blast furnace operation with pulverized coal consumption to 100kg/t HM together with NG under oxyden enrichment of blast.

It is proved that development of new technological regime has allowed to replace 25-30% OF COKE BY additional fuels, to increase blast furnace output by 1,6-1,8% per every additional percent oxygen, to keep or to improve pig iron quality. The efficiency of development technology makes up 1.3 mil. rubles per 1 mil. tons of pig iron in price of 1989.

Tereshchenko

AB 31.378

AB 31.378