

Таблица 1 — Изменение содержания общей серы ($S_{\text{общ}}$) при высокотемпературной обработке (1800 °С)

Расстояние от стенки камеры, мм	Исходный кокс, %	Термически обработанный кокс, %	% обессеривания
	$S_{\text{общ}}$	$S_{\text{общ}}$	
0–75	2,55	1,42	44,30
75–120	2,31	1,00	56,71
120–167	2,29	0,99	56,79

Согласно данным в таблице можно сделать вывод, что обессеривание кокса класса 3–6 мм может составить около 57 %. В термически обработанном коксе содержание серы падает в среднем в два раза. Кроме того, содержание серы в коксе растет в направлении от центра коксового пирога к стенке коксовой камеры. Такая зависимость была установлена и другими исследователями.

В дальнейшем планируется проведение исследований по определению влияния вакуума и температуры на содержание серных соединений в коксе.

Список литературы

1. Браун, Н. В. Перспективные направления развития коксохимического производства / Н. В. Браун, И. М. Глушенко. — М. : Metallurgia, 1989. — 272 с.
2. Кауфман, А. А. Отечественные и зарубежные коксовые печи: конструкции и оборудование : учеб. пособ. / А. А. Кауфман, Ю. Я. Филоненко ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2013. — 88 с.
3. Кауфман, А. А. Теория и практика современных процессов коксования. Сборник примеров и задач : учебное электронное текстовое издание / А. А. Кауфман ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2005. — 61 с.
4. Дытнерский, Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии : учебник для вузов. В 2-х ч. Ч. 2. Массообменные процессы и аппараты / Ю. И. Дытнерский. — 2-е изд. — М. : Химия, 1995. — 368 с.

УДК 669-9

Савченко В. Н.

преподаватель-методист, специалист высшей категории,

Падалка Н. А.

*специалист высшей категории,
ГПОУ «ЕМТ», г. Енакиево, ДНР*

ПУТИ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ В ДОМЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

В процессе развития современного доменного производства металлургии постоянно сталкиваются с проблемой неуклонно растущих цен на основные энергоносители доменной плавки — кокс и природный газ. Рост цен обусловлен как сокращением запасов высоких марок коксующихся углей, так и привязкой цены природного газа к цене нефти на мировых рынках, что позволяет основным поставщикам энергоресурсов, путем поднятия цен на энергоносители в определенных регионах, влиять на повышение себестоимости и цены металлургической продукции, снижая конкурентные возможности предприятий.

Ключевые слова: доменное производство, природный газ, кокс, кислород, энергосберегающие технологии, пылеугольное топливо.

В доменном производстве существует несколько традиционно наработанных энерго-сберегающих технологий снижения энергетических затрат, направленных в большинстве

своим на сокращение расхода кокса, что обусловлено приемлемыми ценами на природный газ, применяемыми в период их наработки. Основными из них являются повышение температуры дутья, повышение расхода природного газа и обогащение дутья кислородом, применяемые как по отдельности, так и в составе комбинированного дутья.

Повышение температуры дутья на 100 °С обеспечивает снижение расхода кокса в интервале температур: от 700 °С до 800 °С — 19 кг/т; от 800 °С до 900 °С — 18 кг/т; от 900 °С до 1000 °С — 17 кг/т.

Применение природного газа обеспечивает экономию кокса в количестве 0,7–0,8 кг на 1 м³ природного газа за счет тепла, выделяемого при сгорании природного газа на фурмах, увеличения количества и улучшения восстановительной способности горновых газов за счет водорода, образующегося при горении природного газа на фурмах, улучшения ровности хода доменной печи.

При этом, повышение температуры дутья на 100 °С повышает теоретическую температуру на 62–77 °С, повышение содержания кислорода в дутье на 1 % повышает теоретическую температуру на 41–47 °С, повышение расхода природного газа на 1 % к дутью снижает теоретическую температуру на 41–50 °С, а повышение влажности дутья на 1 % (8 г/нм³) снижает теоретическую температуру на 30–44 °С.

Обогащение дутья кислородом с одновременным вдуванием в горн доменной печи природного газа и повышением температуры дутья является эффективным средством повышения производительности печи и сокращения удельного расхода кокса. Обогащение дутья кислородом интенсифицирует процесс доменной плавки за счет снижения выхода горнового газа (азота) на единицу сжигаемого углерода. Однако, вследствие чрезмерного повышения температуры фурменных очагов, обогащение дутья кислородом без применения природного газа вызывает тугий ход и подвисание шихты. С целью сохранения теоретической температуры горения и соответственно газодинамического режима на неизменном уровне (2000–2200 °С), обогащение дутья кислородом сопровождается увеличением расхода природного газа на 0,50–0,65 м³ на 1 м³ вдуваемого кислорода. Снижение теоретической температуры при вдувании природного газа объясняется снижением прихода тепла и увеличением выхода продуктов горения на единицу сжигаемого углерода. Увеличение содержания кислорода в дутье на 1 % с одновременным увеличением расхода природного газа на 0,50–0,65 м³/м³ кислорода позволяет повысить производительность печи на 2,1–2,4 %. На каждые 1000 м³ кислорода производительность доменных печей повышается на 0,7–0,8 т в зависимости от чистоты кислорода, холодных и горячих потерь дутья. Повышение стоимости природного газа определили значительное сокращение его расхода на выплавку чугуна. Снижение расхода и вывод из состава дутья природного газа приводит к затруднению использования кислородно-температурного потенциала горна. Степень прямого восстановления при этом возрастает на 10–20 %.

Альтернативной заменой природного газа по своему воздействию на технологию могут служить колошниковый газ, содержащий минимальное количество азота, коксовый либо конвертерный газы, вдуваемые совместно с пылеугольным топливом и кислородом не в шахту печи, а в фурменную зону. При данном способе вдувания достигается улучшения перемешивания и формирование однородной газовой смеси, оптимизируется распределение горновых газов по радиусу горна, повышается эффективность косвенного восстановления оксида железа, упрощается способ ввода энергоносителей в доменную печь. При использовании пылеугольного топлива в доменной плавке совместно с альтернативными заменителями природного газа либо в виде азотно-угольной смеси снижается удельный расход кокса — материала, главным образом определяющего аэродинамическое сопротивление доменной шихты. В столбе шихтовых материалов наибольшее сопротивление прохождению газов создается в местах концентрации рудной части (агломерата и окатышей), а наименьшее сопротивление — в местах концентрации кокса. Снижение удельного расхода кокса за счет применения ПУТ приводит к снижению газопроницаемости столба доменной шихты, что обусловлено низкой насыпной массой кокса по сравнению с агломератом и окатышами. Дополнительный отсев мелких

фракций и подача в доменную печь стабилизированного сырья — агломерата крупностью 5–30 мм и кокса крупностью 25–40 мм позволит обеспечить устойчивую работу за счет улучшения газодинамики агрегата.

Высокое качество подаваемого в печь агломерата по гранулометрическому составу, содержанию железа и по основности в условиях работы доменных печей с вдуванием большого количества пылеугольного топлива до 230 кг/т чугуна при обычном расходе 150–190 кг/т чугуна являются основными технологическими факторами для доменных печей стран Евросоюза, обеспечивающими удельный расход кокса 285–430 кг/т чугуна при практически полном исключении природного газа из дутья доменных печей. Дополнительный отсев мелочи агломерата снижает выход колошниковой пыли и шлама, уменьшает расход железорудного сырья на выплавку одной тонны чугуна, улучшает экологические показатели доменной плавки. Применение коксового орешка разрыхляет рудную линзу и повышает коэффициент использования металлургического кокса. Большую перспективу в условиях применения пылеугольного топлива имеет работа доменных печей на 100 % богатых по содержанию железа офлюсованных окатышах. Анализ перспективных направлений работы доменных печей с вдуванием пылеугольного топлива показал большие возможности применения в доменной плавке самовосстанавливающихся окатышей — продукта окускования железосодержащих шихт с добавками твердого топлива. Этот процесс обеспечивает получение вюститно-магнетитовой структуры железорудного сырья. Содержание монооксида углерода в горновом газе, по мере движения вверх, уменьшается и он теряет способность восстанавливать железо из вюстита в верхней зоне шахты. Однако, восстановительной способности газа достаточно для восстановления магнетита до вюстита. Эффективность комплексного восстановления оксидов железа в резервной зоне доменной печи при вдувании в горн пылеугольного топлива реализуется за счет подачи в шихту самовосстанавливающихся окатышей, содержащих в своем составе углерод, который в количестве 1,6–1,9 % обеспечивает степень металлизации шихты на 6 %. Применение в доменной плавке железофлюса позволяет повысить количество вносимого в печь углерода на 8,8 кг/т чугуна, что при коэффициенте замены углерода кокса углеродом железофлюса 1,11 позволяет получить снижение расхода кокса 9,77 кг/т чугуна.

Внедренная технология вдувания пылеугольного топлива для доменных печей № 3 и № 5 в условиях работы доменного цеха Енакиевского металлургического завода, позволяет достичь расхода ПУТ более 200 кг/т чугуна. При коэффициенте замены углерода кокса углеродом пылеугольного топлива 0,8, возможно снижение расхода кокса более 160 кг/т чугуна. Дополнительный отсев мелких фракций в комплексе с повышением качества загружаемых в доменную печь агломерата и твердого топлива дает дополнительную экономию кокса в пределах 7,5 %.

Экономическая эффективность от внедрения технологии выплавки чугуна с применением пылеугольного топлива определяется по суммарной стоимости энергетических затрат на выплавку 1 тонны чугуна. При прочих равных условиях, стоимость угля для производства пылеугольного топлива с учетом потерь угля при сушке и на выпаривание, а так же с учетом стоимости приготовления пыли, которая составляет, согласно данным ~10 % стоимости угля, значительно ниже стоимости кокса. Согласно существующим расценкам на первый квартал 2021 года, стоимость топлива без учета транспортных затрат составляет: кокса — 280 долларов за тонну, угля марки СС — 50 долларов за тонну. Расход кокса на тонну чугуна на доменной печи № 5 при наилучшем базовом периоде составлял 460 кг/т чугуна. При возможном расходе пылеугольного топлива 200 кг/т чугуна, имеем 160 кг экономии кокса. Затраты на 300 кг кокса/т чугуна, составят $0,3 \cdot 280 = 84$ долларов. Затраты на 200 кг вдуваемого ПУТ с учетом приготовления пыли на тонну чугуна составят $0,2 \cdot 55 = 11$ долларов. Имеем расходы: по коксу $0,46 \cdot 280 = 128,8$ долларов/т чугуна без внедрения технологии вдувания ПУТ и $84 + 11 = 95$ долларов/т чугуна с внедрением данной технологии.

В итоге, экономическая эффективность от внедрения технологии вдувания ПУТ составит $128,8 - 95 = 33,8$ долларов экономии на каждой тонне выплавляемого чугуна, что составляет 26,24 % соответственно.

Список литературы

1. Бабич, А. И. Интенсификация использования пылеугольного топлива в доменной плавке / А. И. Бабич, С. Л. Ярошевский, В. П. Терещенко. — К. : Техника, 1993. — 200 с.
2. Шульц, Л. А. Элементы безотходной технологии в металлургии / Л. А. Шульц. — М. : Металлургия, 1991. — 174 с.
3. Кочура, В. В. Интенсификация сжигания пылеугольного топлива в доменной плавке / В. В. Кочура, А. И. Бабич, А. М. Кузнецов // Металл и литье Украины. — 2004. — № 3–4. — С. 31–32.
4. Симонов, В. К. Кинетика отдельного и комплексного восстановления железорудных материалов газами и твердым углем / В. К. Симонов, Л. Н. Руденко // Интенсификация восстановительных процессов. Диффузионно-химические аспекты / под ред. И. С. Куликова. — М. : Наука, 1980. — С. 36–51.

УДК 662.74

Градинаров Р. И.

магистрант

ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ», г. Алчевск, ЛНР,

Гливинский С. А.

мастер по регулировке обогрева коксовых печей коксового цеха № 2

Филиал № 12 ЗАО «Внешторгсервис», г. Алчевск, ЛНР

РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОКСА РАЗНЫХ КЛАССОВ КРУПНОСТИ

Приведен анализ влияния крупности металлургического кокса на основные параметры работы доменных печей, удельный расход кокса на тонну чугуна.

Ключевые слова: *коксохимическое производство, реакционная способность, расход кокса, коксование.*

Производители кокса должны ориентироваться на получение продукта с узким диапазоном гранулометрического состава, большой средней крупностью, высокими показателями холодной прочности (M25/40) и стойкости к истиранию (M10), а также низкой реакционной способностью (CRI) и, следовательно, высокой после реакционной прочностью (CSR). Это необходимо для обеспечения хорошей проницаемости столба шихты для газов и расплавов в доменной печи [1–7].

Однако исследования последних лет показали, что низкая реакционная способность кокса приводит к повышенному расходу топлива в доменной печи. В связи с этим в Японии активно изучают возможности повышения эффективности доменной плавки за счет увеличения реакционной способности кокса. Так, специалисты корпоративной исследовательской лаборатории фирмы Sumitomo Metal Industries, Касима провели исследования по оценке уровня эффективности химических реакций в доменной печи. В результате авторы исследования пришли к выводу, что применение в доменной плавке высокорекреакционного кокса позволяет снизить температуру зоны теплового резерва, повысить восстановительную способность газа и достичь эффекта снижения удельного потребления углерода, равноценного вдуванию природного газа в сочетании с повышением температуры дутья [1].

Центром экологии и промышленной технологии фирмы Nippon Steel Corporation, Тиба, Япония при разработке технологии производства высокорекреакционного кокса был принят каталитический метод повышения химической активности кокса. Определяли, какие вещества пригодны в качестве катализаторов и метод их введения в структуру кокса, и остано-