

Большаков В. И. /д. т. н./, Семенов Ю. С. /к. т. н./,
Шумельчик Е. И., Горупаха В. В., Наследов А. В. *
ИЧМ им. З. И. Некрасова НАН Украины

Использование информации о температуре над поверхностью засыпи шихты для контроля доменной плавки

Приведены основные особенности установки на доменных печах стационарных термозондов. На примере доменной печи № 3 ПАО «Енакиевский металлургический завод», показаны взаимосвязи температур поверхности засыпи шихты с основными параметрами и показателями доменной плавки. Ил. 6. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: доменная печь, термозонд, температура над поверхностью засыпи, программа загрузки, бесконусное загрузочное устройство, содержание окатышей в шихте, распределение шихты

The main features of the plant blast furnaces stationary temperature probes are adduced. On the example of the blast furnace № 3 «Yenakiyev Iron and Steel Works», the relationship of burden surface temperatures with the main blast furnace parameters and indicators are shown.

Keywords: blast furnace, temperature probe, temperature above the burden surface, charging program, bell-less charging device, the content of pellets in the burden, the distribution of charge

Для эффективного выбора и опробования рациональных программ загрузки необходима надежная информация о распределении газового потока по радиусу и окружности доменной печи (ДП), которое оценивают по показаниям термопар стационарных термобалок (термозондов) и химическому составу газа, получаемого с помощью газоотборных машин [1-3]. В последнее время для оценки распределения интенсивности газового потока все шире применяются термобалки, которые устанавливаются над поверхностью засыпи шихты в печи по одному или нескольким радиусам колошника. Важным достоинством термобалок является непрерывное измерение распределения температуры газов, что позволяет использовать получаемую с их помощью информацию для оценки и корректировки программ загрузки ДП, а недостатком – получение некорректной информации при понижениях рабочих уровней засыпи вследствие перемешивания газового потока. Это свидетельствует о большей эффективности применения термобалок, особенно для управления радиальным распределением шихтовых материалов на ДП, оборудованных бесконусными загрузочными устройствами (БЗУ), где изменение уровня засыпи не используется в качестве инструмента управления распределением шихты. Для по-

лучения достоверных и стабильных показаний термобалки должны располагаться на расстоянии ~ 0,50 м от поверхности засыпи [1].

Как правило, для обеспечения приблизительно равных расстояний от поверхности шихты до термопар по радиусу печи, термобалки устанавливаются под углом наклона к горизонту, предполагая формирование в доменной печи воронкообразного профиля поверхности засыпи шихты. Однако это требование актуально лишь при формировании поверхности шихты конусными загрузочными устройствами и не является необходимым при использовании программ загрузки БЗУ, предусматривающих выгрузку порций кокса в осевую зону ДП. При использовании таких программ загрузки образуется профиль поверхности засыпи, имеющий часто либо горизонтальную форму, либо возвышение осевой воронки.

Применение термобалок основано на установленной исследователями взаимосвязи между распределением CO_2 и температуры газов по радиусу печи, которая выражается обратным видом зависимости [3]. Однако эта взаимосвязь нарушается после выгрузки порции кокса в осевую зону печи и при понижениях рабочего уровня засыпи. Также температуры поверхности шихты зависят от толщины слоя и теплоемкости ма-

Примечание. * – Авторы признательны за сотрудничество при выполнении данной работы А. М. Кузнецову /к. т. н./, А. В. Зубенко, А. С. Хайбулаеву, А. С. Иванишину (ПАО «ЕМЗ»), Б. Е. Бориславскому (ООО «Линкор»).

териалов в кольцевых зонах печи [1]. Следовательно, для принятия управляющих воздействий получение объективной информации об изменении температуры поверхности засыпи должно осуществляться с использованием специальных алгоритмов обработки данных.

Негативной особенностью термобалок, имеющих прямоугольное поперечное сечение, составляющее более 200 мм, является искажение потока шихты при его контакте с термобалками. Это приводит к образованию в печи окружной неравномерности шихты [4, 5]. Так, при контакте с балками потока шихты в секторах печи под балками образуются углубления более 0,5 м. Это, в свою очередь, приводит к неравномерному распределению шихты и газов по окружности печи. Термобалки, установленные на ДП № 1 и ДП № 5 ПАО «Енакиевский металлургический завод (ЕМЗ)», а также на доменных печах комбинатов МК «Азовсталь» и ММК им. Ильича производства ООО «Линкор», характеризуются меньшей шириной и являются приемлемыми для контроля температуры поверхности шихты без искажения потока выгружаемых материалов [4, 6]. По рекомендации ИЧМ на ДП № 3 ПАО «ЕМЗ», оборудованной БЗУ фирмы «Paul Wurth», после проведения капитального ремонта 3-го разряда в июне 2014 г. были установлены четыре охлаждаемые азотом термобалки производства ООО «Линкор». Положительной конструктивной особенностью установленных на ДП № 3 термобалок является возможность объективного контроля степени развития периферийного газового потока – расстояние от стенки колошника до крайней периферийной термопары составляет 50 мм, а рас-

стояние до второй термопары пристеночной зоны – 310 мм. Следует отметить, что выполненные исследования по влиянию охлаждения термобалок на их показания, а именно, при периодическом отключении подачи азота установлено отсутствие существенных искажений показаний термопар, что противоречит положениям, изложенным в публикации [2]. Использование охлаждения особенно актуально при работе ДП на горячем агломерате, когда исключена возможность получения объективной информации при работе термобалок без охлаждения. Вместе с тем, согласно исследованиям [6], охлаждение конструкции термобалок оказывает влияние только на показания крайней пристеночной термопары за счет отходящего азота. Данное утверждение требует проведения дополнительных экспериментальных исследований, направленных на кратковременное отключение хладагента. Для объективной оценки температуры периферийного газового потока рекомендуется использовать средние значения двух крайних термопар пристеночной зоны ДП.

Для детального анализа изменения температур, регистрируемых стационарными термобалками, был выбран период работы ДП № 3 с 21.06.2014 г. по 21.07.2014 г. В исследуемом периоде работы ДП в матрицу загрузки БЗУ корректировки не вносились. Цикл загрузки состоял из 12 порций шихтовых материалов, первая и седьмая порции – кокс, выгружаемый в осевую зону ДП (угловые положения лотка БЗУ – 5-1). На рис. 1 представлено изменение температуры газового потока над поверхностью засыпи по показаниям восьми термопар термобалки в течение одного цикла загрузки ДП.

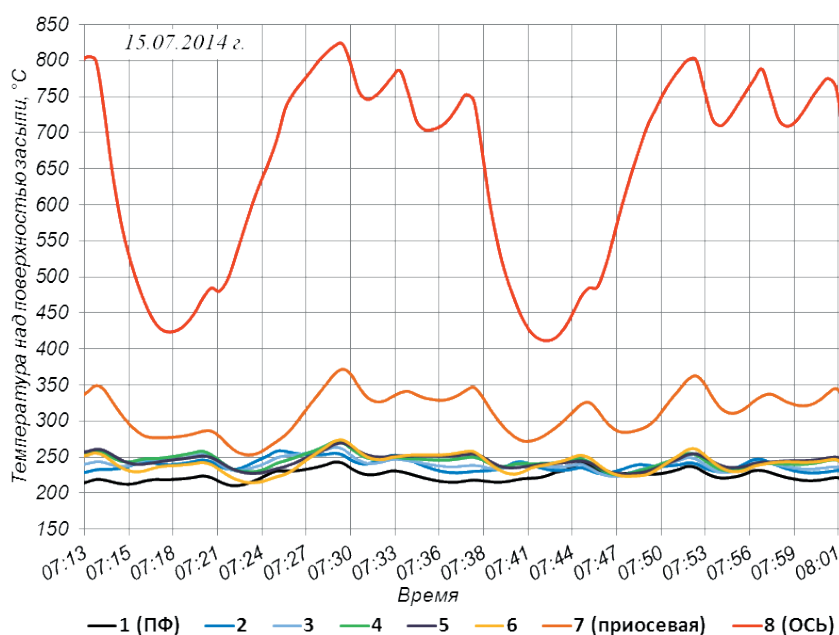


Рис. 1. Изменение температуры над поверхностью засыпи за цикл загрузки ДП № 3

Как следует из рис. 1, после выгрузки порций осевого кокса наблюдается уменьшение температуры в центре печи на $\sim 350^\circ\text{C}$, после выгрузки порций кокса в промежуточную зону печи (угловые положения лотка БЗУ – 8-3 и 9-4) температура в центре печи уменьшается на $50-100^\circ\text{C}$. Таким образом, оперативную оценку температуры газового потока над поверхностью засыпи целесообразно осуществлять перед выгрузкой железосодержащих порций в цикле загрузки.

Анализ показаний стационарных термобалок показал, что в периодах работы печи со стабильным уровнем засыпи распределение температур поверхности шихты соответствовало умеренно развитому центральному газораспределению (рис. 2). Согласно разработанной ранее в ИЧМ инструкции по ведению доменной плавки с использованием информации о температуре поверхности шихты, осевой газовый поток следует считать чрезмерно развитым, если температура поверхности шихты в осевой зоне радиусом 1,5-1,7 м превышает температуру в периферийной зоне на $300-350^\circ\text{C}$. В рассматриваемом периоде работы ДП № 3 температура в осевой зоне превышала температуру в периферийной на $80-160^\circ\text{C}$.

Для оценки влияния технико-экономических показателей плавки на характер распределе-

ния температуры поверхности засыпи шихты для каждых суток исследуемого периода работы ДП № 3 был определен расход приведенного к коксу топлива, учитывающий количество используемого в шихте коксового ореха и количество вдуваемого природного газа. На рис. 2 представлено распределение температур поверхности шихты по диаметрам колошника для двух периодов работы ДП № 3 с минимальным (29-30.06.2014 г., рис. 2а) и максимальным (04.07.2014 г., рис. 2б) расходом топлива; в первом периоде расход топлива был на 3,5 % меньше, чем во втором.

Как следует из рис. 2, периоду работы с минимальным расходом топлива соответствует температура в оси печи на 128°C больше, по сравнению с периодом с максимальным расходом топлива. Также периоду, представленному на рис. 2а, соответствует меньшая окружная неравномерность температуры в периферийной зоне, которая ярко выражена во втором периоде (рис. 2б) со стороны третьего газоотвода (ГО-3).

Для оценки степени развития центрального газораспределения может быть использован показатель $K_p = T_{\text{ц}}/T_{\text{пф}}$, где $T_{\text{ц}}$ – температура центральной зоны печи, определяемая по показаниям восьмью по счету от стенки печи термопар, $T_{\text{пф}}$ – температура периферийной зоны, определяемая как среднее значение показаний двух пристеночных точек термобалок.

Распределение температуры поверхности засыпи по радиусу печи при различных диапазонах показателя K_p представлено на рис. 3. Анализ периодов работы ДП № 3 показал, что увеличение показателя K_p до значения 2,7 ед. сопровождается увеличением суточного производства печи и уменьшением суммарного расхода топлива. При значении показателя K_p больше 2,7 ед. тенденция к увеличению производства печи сохраняется, но при этом сопровождается незначительным увеличением расхода топлива. Зависимость суточного производства печи и суммарного расхода топлива от показателя K_p представлена на рис. 4.

Взаимосвязь среднесуточных значений показателя K_p с другими параметрами и показателями плавки показала, что, как и в случае с производительностью печи ($r_{x,y} = 0,709$), имеет место взаимосвязь предложенного показателя с содержанием окатышей в железорудной части шихты ($r_{x,y} = 0,548$), а также с количеством природного газа ($r_{x,y} = 0,734$), с давлением горячего дутья ($r_{x,y} = 0,646$) и с давлением под колошником ($r_{x,y} = 0,573$).

Следующим этапом исследований являлась оценка влияния на распределение температуры над поверхностью засыпи содержания ока-

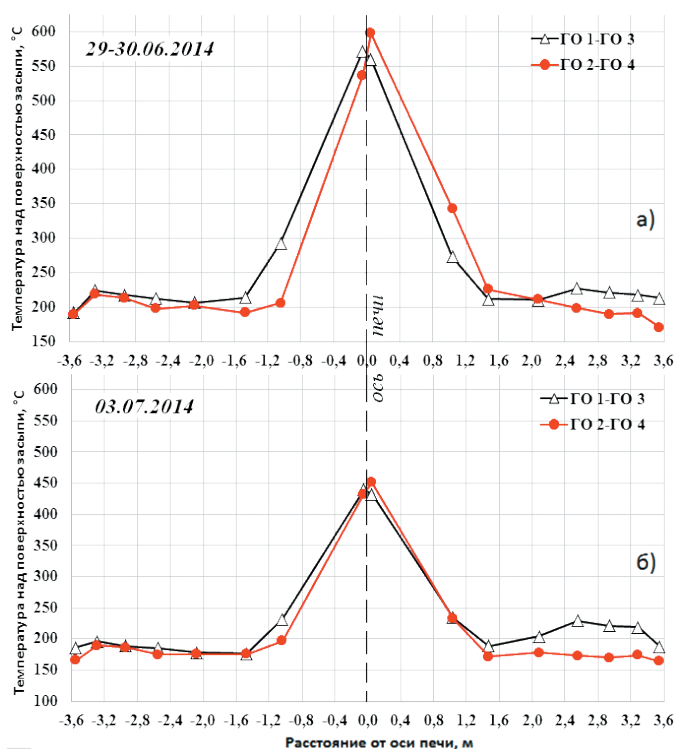


Рис. 2. Распределение температуры над поверхностью засыпи шихты по двум измеряемым диаметрам для периодов работы ДП № 3 с минимальным (а) и максимальным (б) расходом топлива

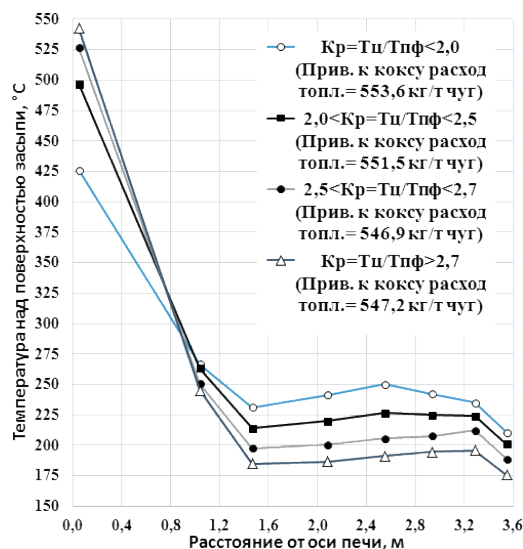


Рис. 3. Распределение температур над поверхностью засыпи шихты для периодов работы ДП № 3, соответствующих различным диапазонам изменения показателя K_p

тышей (ω_o) в железорудной части шихты и в периферийной зоне печи. Для этого были выбраны пять суток работы ДП № 3 исследуемого периода (далее № 1-5). В периоде № 1 ω_o в шихте составляло 48,1 %, в периферийной (ПФ) зоне сечения печи (девятая и десятая равные по площади кольцевые зоны) количество окатышей в железорудной смеси, состоящей помимо окатышей из агломерата, конвертерного шлака, брикетов из отсева окатышей, сырого известняка и

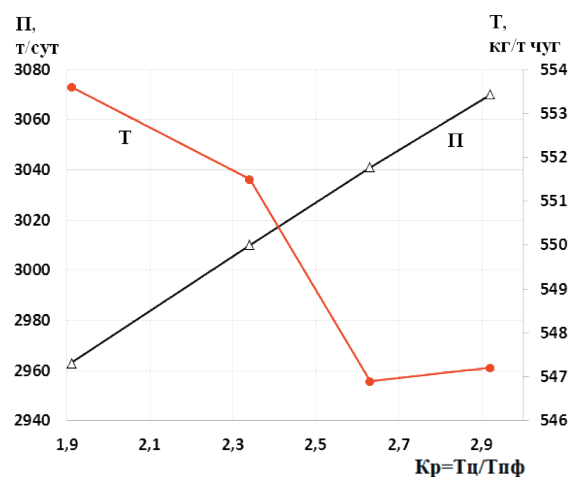


Рис. 4. Зависимость суточного производства печи (П) и суммарного расхода топлива (Т) от показателя K_p

марганецсодержащих материалов, по результатам расчета с помощью разработанных в ИЧМ моделей [7, 8] составило 42,8 %. В периоде № 2 – 46,0 % в смеси с агломератом, 41,4 % в ПФ зоне, в периоде № 3 – 41,0 % в смеси с агломератом, 37,4 % в ПФ зоне, в периоде № 4 – 53,2 % в смеси с агломератом, 46,2 % в ПФ зоне и в периоде № 5 – 36,0 % в смеси с агломератом, 31,4 % в ПФ зоне. Распределение температуры над поверхностью засыпи шихты и ω_o в железосодержащих материалах по радиусу колошника для пяти исследуемых периодов работы ДП № 3 приведены на рис. 5.

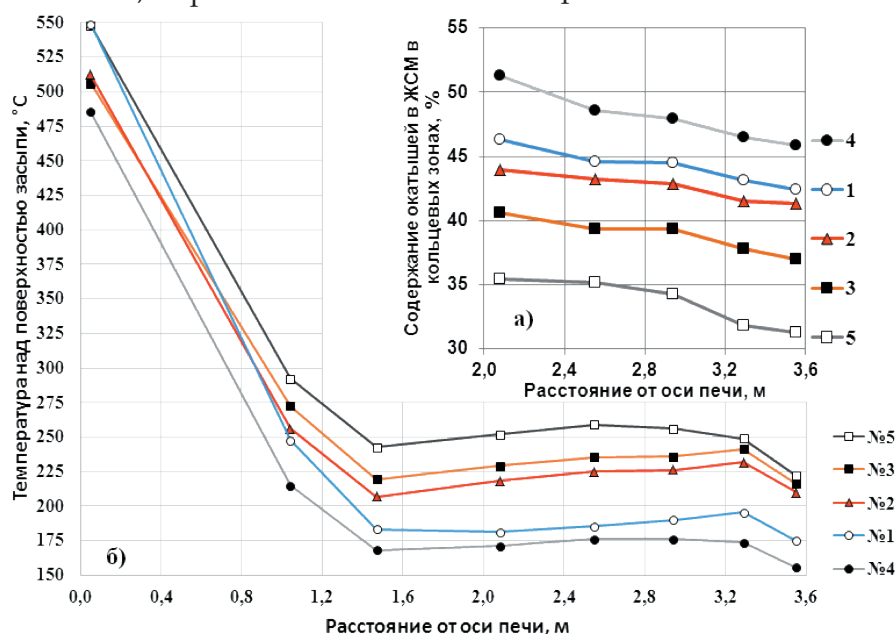


Рис. 5. Распределение содержания окатышей в железосодержащих материалах (ЖСМ) в кольцевых зонах радиуса колошника (а) и приведенных к одному радиусу температур над поверхностью засыпи шихты (б) для пяти периодов работы ДП № 3:

№ 1 – 29.06.2014 ω_o в смеси с агломератом – 48,1 %, в ПФ зоне – 42,8 %;
 № 2 – 01.07.2014 ω_o в смеси с агломератом – 46,0 %, в ПФ зоне – 41,4 %;
 № 3 – 02.07.2014 ω_o в смеси с агломератом – 41,0 %, в ПФ зоне – 37,4 %;
 № 4 – 09.07.2014 ω_o в смеси с агломератом – 53,2 %, в ПФ зоне – 46,2 %;
 № 5 – 16.07.2014 ω_o в смеси с агломератом – 36,0 %, в ПФ зоне – 31,4 %

Как следует из результатов, представленных на рис. 5, температуры поверхности засыпи шихты тем больше, чем меньше ω_{O} как в смеси с агломератом, так и в железорудной смеси в ПФ зоне. Так, периоду работы печи с ω_{O} в ПФ зоне 31,4 % (№ 5) соответствует температура поверхности засыпи в этой зоне – 236 °С, периоду с ω_{O} в ПФ зоне 37,4 % (№ 3) – 229 °С, периоду с ω_{O} в ПФ зоне 41,4 % (№ 2) – 221 °С, периоду с ω_{O} в ПФ зоне 42,8 % (№ 1) – 185 °С и периоду с ω_{O} в ПФ зоне 46,2 % (№ 4) – 165 °С.

Таким образом увеличению (уменьшению) ω_{O} в ПФ зоне печи на 1 % соответствует уменьшение (увеличение) температуры поверхности засыпи шихты на 3-8 °С (рис. 6). Объяснениями полученной закономерности служат как влияние количества горячего агломерата на температуру поверхности засыпи, так и увеличение количества FeO в первичном шлаковом расплаве при увеличении содержания в шихте окатышей, сопровождающееся большими затратами тепла для восстановления железа, вследствие чего происходят изменения условий плавления и восстановления, приводящие к уменьшению температуры поверхности шихты. Таким образом, информация, получаемая от стационарных термобалок, позволяет осуществлять оперативный контроль содержания окатышей в периферийной зоне печи, что крайне важно при формировании защитного гарнисажа в печи.

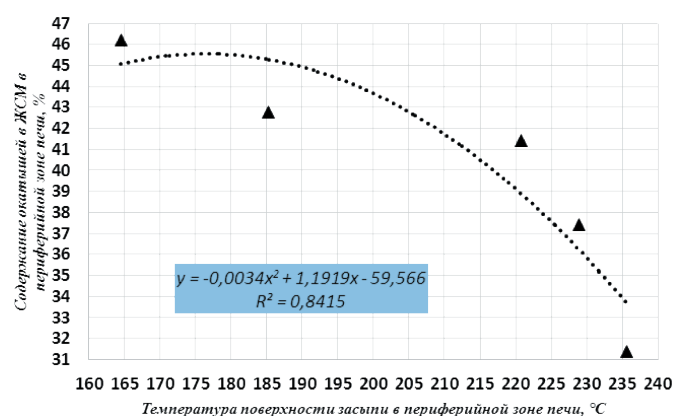


Рис. 6. Взаимосвязь содержания окатышей в железосодержащих материалах (ЖСМ) и температуры над поверхностью засыпи шихты в периферийной зоне печи

Выводы

Установленные особенности изменения температуры над поверхностью засыпи шихты в зависимости от производительности печи, технико-экономических и газо-дутьевых показателей, содержания окатышей в пристеночной зоне открывают возможность дальнейшего использования информации термобалок для оперативного управления газовым потоком. Для

эффективного использования термобалок при контроле распределения газового потока и последующего обоснованного принятия решений по корректировке режима загрузки целесообразным является контроль технологическим персоналом среднечасовых и среднесуточных значений предложенного показателя газораспределения K_p .

Библиографический список

1. Большаков В. И. Технология высокоэффективной энергосберегающей доменной плавки / В. И. Большаков. – К.: Наукова думка, 2007. – 412 с.
2. Контроль радиального газораспределения в оборудованных БЗУ доменных печах ММК с помощью многоточечных термозондов / В. М. Паршаков, Р. С. Тахаутдинов, Ю. А. Бодяев и др. – Сталь. – 2009. – № 10. – С. 16-19.
3. Оценка распределения газового потока по температуре поверхности засыпи / М. Н. Байрака, Н. С. Гринштейн, А. К. Тараканов, Н. М. Можаренко, Б. И. Мирошниченко. – Сталь. – 1986. – № 1. – С. 13-16.
4. Освоение энергосберегающей технологии загрузки доменной печи, оборудованной БЗУ, в конъюнктурных топливно-сырьевых и технологических условиях / В. И. Большаков, Ю. С. Семенов, Е. И. Шумельчик, В. В. Горупаха, А. В. Наследов, А. М. Кузнецов, А. В. Зубенко. – Сб. научн. тр. ИЧМ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». – 2014. – Вып. 28. – С. 57-80.
5. Исследования параметров потока шихтовых материалов и их распределения на колошнике современной доменной печи / В. И. Большаков, Ю. С. Семенов, Н. Г. Иванча, В. И. Вишняков, Е. И. Шумельчик, А. Л. Подкорытов, И. Ю. Семион, А. М. Кузнецов, А. В. Зубенко. – Металлург. и горноруд. пром-сть. – 2012. – № 3. – С. 87-92.
6. Современная автоматизированная система контроля распределения температурного поля газового потока по сечению колошника над уровнем засыпи в доменной печи / Б. Е. Бориславский, Н. Г. Баланова, А. Б. Бориславский, А. Н. Батищев, О. М. Тищенко, Н. В. Косолап, П. А. Гладкий, А. М. Кузнецов, Н. М. Сапрыкин. – Сборник трудов VI Международного Конгресса по агло-коксо-доменному производству, 20-24 мая 2013. – С. 331-341.
7. Разработка математических моделей загрузки многокомпонентных порций шихтовых материалов в бункер бесконусного загрузочного устройства и выгрузки их из бункера / В. И. Большаков, Н. Г. Иванча, В. И. Вишняков. – Сб. научн. тр. ИЧМ «Фундаменталь-

ные и прикладные проблемы черной металлургии». – 2012. – Вып. 26. – С. 42-51.

8. Модельная система выбора и корректировки программ загрузки доменной печи, оборудованной БЗУ / Ю. С. Семенов, Е. И. Шумельчик,

В. И. Вишняков, А. В. Наследов, И. Ю. Семион, А. В. Зубенко. – Металлург. – 2012. – № 9. – С. 36-40.

Поступила 20.03.2015



УДК 669.162

Производство

Тараканов А. К. /д. т. н./,
Бочка В. В. /д. т. н./,
Костомаров А. С.
НМетАУ

Кариков С. А.
ПАО «МК «АЗОВСТАЛЬ»
Андриенко А. Ю.
ПАО «ЕВРАЗ – ДМЗ им. Петровского»

Эффективность увлажнения доменного дутья в современных условиях

Проанализировано влияние изменений естественной влажности воздуха на показатели доменной плавки. Показано, что выбор значений расхода пара на увлажнение дутья при необходимости постоянного вдувания пара должен обеспечивать поддержание теоретической температуры горения топлива в фурменных очагах на оптимальном уровне с учетом колебаний естественной влажности воздуха. Ил. 5. Библиогр.: 3 назв.

Ключевые слова: доменная плавка, увлажнение дутья, оптимизация параметров дутья

The influence of changes of natural moisture content of air on the blast-furnace smelting factors is analyzed. It is shown that the choice of values of steam flow on the blast moisturizing, if constant steam injection is necessary, should provide support of theoretical temperature of fuel burning in combustion zones at the optimum level taking into account oscillations of air natural moisture content.

Keywords: blast-furnace smelting, blow moisturizing, blast parameter optimization

Влияние изменения влажности дутья на показатели доменной плавки проанализировано в литературе достаточно глубоко и детально [1].

До начала вдувания в доменные печи природного газа увлажнение дутья рассматривали главным образом как мероприятие, которое позволяло повышать температуру дутья (9°C на $1\text{ г H}_2\text{O/нм}^3$ дутья), не допуская расстройств хода печи в связи с чрезмерными значениями температуры фурменного газа. В этом случае удельный расход кокса снижался, несмотря на то, что само по себе повышение влажности дутья на $1\text{ г H}_2\text{O/нм}^3$ дутья увеличивает расход кокса на 0,15-0,20 % [2]. Использование топливных добавок к дутью сделало технологически эффективным осушение доменного дутья, но широкого применения это мероприятие не получило.

В современных условиях, когда на металлургических предприятиях Украины повсеместно отказались от вдувания природного газа, а значительная часть доменных печей не оборудована

пока установками для вдувания пылеугольного топлива, к постоянному увлажнению дутья спустя 60 с лишним лет на ряде предприятий вынуждены были вернуться.

Поскольку условия работы доменных печей теперь существенно отличаются от тех, что были раньше, проблемы увлажнения дутья в современных условиях требуют дополнительного анализа.

В первую очередь, необходимо уточнить влияние естественной влажности воздуха на удельный расход кокса в доменной плавке. К сожалению, на многих предприятиях этот фактор вообще не контролируется и не анализируется.

Влажность воздуха максимально меняется по сезонам года, так как она тесно связана с температурой воздуха. Наряду с сезонными имеют место суточные изменения естественной влажности воздуха, хотя здесь амплитуда колебаний намного меньше, так как насыщение воздуха водяным паром достигается редко и абсолютная