



УДК 669.162.

В.И. Большаков /д.т.н./, С.Т. Шулико, В.В. Лебедь, Ю.С. Семенов

Институт черной металлургии НАН Украины

К.А. Дмитренко, В.Н. Попов

ОАО «Криворожский горно-металлургический комбинат «Криворожсталь»

Распределение дутья по окружности доменной печи объемом 5000 м³ при ее работе и выдувке*

Приведены результаты экспериментальных исследований распределения дутья по воздушным фурмам доменной печи № 9 КГГМК «Криворожсталь» перед и во время ее выдувки на капитальный ремонт 1-го разряда в 2003 г. Ил. 3. Библиогр.: 6 назв.

доменная печь, тракт подвода дутья в печь, режим работы распределителя шихты, «локальные зоны», газопроницаемость, распределение шихты и дутья

Создание базы данных о распределении дутья по воздушным фурмам доменной печи с учетом влияния конструктивных особенностей загрузочного устройства и тракта подвода горячего дутья является одним из основных условий совершенствования и разработки новых приемов управления распределением шихты и газового потока по окружности печи.

Доменная печь № 9 КГГМК «Криворожсталь» полезным объемом 5000 м³ ($d_{\text{горна}}=14,7$ м, $d_{\text{кол.}}=10,8$ м) оборудована 42 воздушными фурмами диаметром 150 мм. Подвод дутья в кольцевой воздухопровод (КВ) печи ($d_{\text{КВ}}=1,626$ м) выполнен двумя патрубками с углом между их осями – 59°. Загрузка печи осуществляется двухтрактовым бесконусным загрузочным устройством (БЗУ) фирмы П. Вюрт с лотковым распределителем шихты ($L_{\text{л}}=4,5$ м) и параллельным расположением промежуточных бункеров (Б1 и Б2) объемом по 75 м³ каждый.

Равномерность износа шихтой бункеров БЗУ и уменьшение окружной неравномерности распределения шихты на колошнике, возникающей при параллельном расположении бункеров и зависящей от расположения шихтовых материалов в бункерах [1, 2], обеспечивались чередованием загрузки в бункеры порций кокса (К) и железорудных материалов в виде смеси агломерата и окатышей (АО) [3]. Для обеспечения равномерного износа шихтой рабочей поверхности лотка производилась периодическая смена направления его вращения. Уровень засыпи в печи перед ее выдувкой контролировался двумя электромеханическими уровнемерами, расположенными в плоскости осей бункеров БЗУ.

По данным исследования радиально-окружного распределения шихты БЗУ в доменной печи № 9

установлено следующее. Линии точек встречи центра тяжести потока материалов, выгружаемых из бункеров БЗУ (Б1 и Б2), с поверхностью засыпи (для всех углов наклона лотка) представляют собой окружности неправильной формы. Пересечение этих окружностей происходит в точках, изменяющих свое расположение на поверхности засыпи в зависимости от углового положения и направления вращения лотка БЗУ. Совокупность этих точек в секторах на поверхности засыпи образует периферийные (для угловых положений лотка 9...4) и промежуточные (для 3...1 угловых положений) «локальные зоны». В этих «зонах» по высоте печи формируется столб шихты с пониженной газопроницаемостью уменьшающей расход дутья через фурмы расположенные в секторах, где находятся «зоны». При этом, между «зонами» газопроницаемость и расход дутья существенно увеличиваются [4]. Расположение центров «локальных зон» на поверхности засыпи ДП № 9 показано на рис. 1.

Экспериментальными исследованиями, выполненными ИЧМ на доменных печах объемом 5000 м³ КГГМК «Криворожсталь» и 5500 м³ ОАО «Северсталь», оборудованных двухбункерным БЗУ с лотковым распределителем шихты, установлено влияние особенностей окружного распределения шихты БЗУ и конструкции тракта подвода горячего дутья к фурмам на равномерность распределения по окружности печи дутья, а, следовательно, газового потока и ровности хода [3, 4].

Исследование влияния направления вращения лотка БЗУ при загрузке шихтовых материалов в печь с периодичностью его изменения через 24 часа на распределение дутья по фурмам и изменение протяженности фурменных очагов в радиальном направлении (зоны разрыхления), а также на положение «то-термана» в горне ДП № 9 выполнялось в периоды (первый и второй) ее работы перед остановкой на капитальный ремонт 1-го разряда в 2003 г., а также в период выдувки печи на капитальный ремонт.

В исследуемые периоды на печи применялись следующие программы загрузки:

| Период | Вид материала, угловые положения лотка БЗУ | | | | | | | | Уровень засыпи, м | M _{жр} , т | КО, т | |
|---------------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------------|---------------------|-------|--------|
| | КО | АО | К | АО | КО | К | АО | К | | | | |
| I - октябрь 2002 г. | 4-1 | 9-6 | 8-5 | 9-4 | 3-1 | 8-4 | 8-4 | 8-4 | 9-4 | 1.0 | 90 | К+6тО |
| II - апрель 2003 г. | 3-1 | 9-6 | 8-5 | 9-4 | 3-1 | 8-4 | 7-4 | 8-4 | 9-4 | 1.0 | 100 | К+12тО |

*В исследованиях принимал участие Канаев В.В.

© В.И. Большаков, С.Т. Шулико, В.В. Лебедь, Ю.С. Семенов, К.А. Дмитренко, В.Н. Попов, 2005 г.

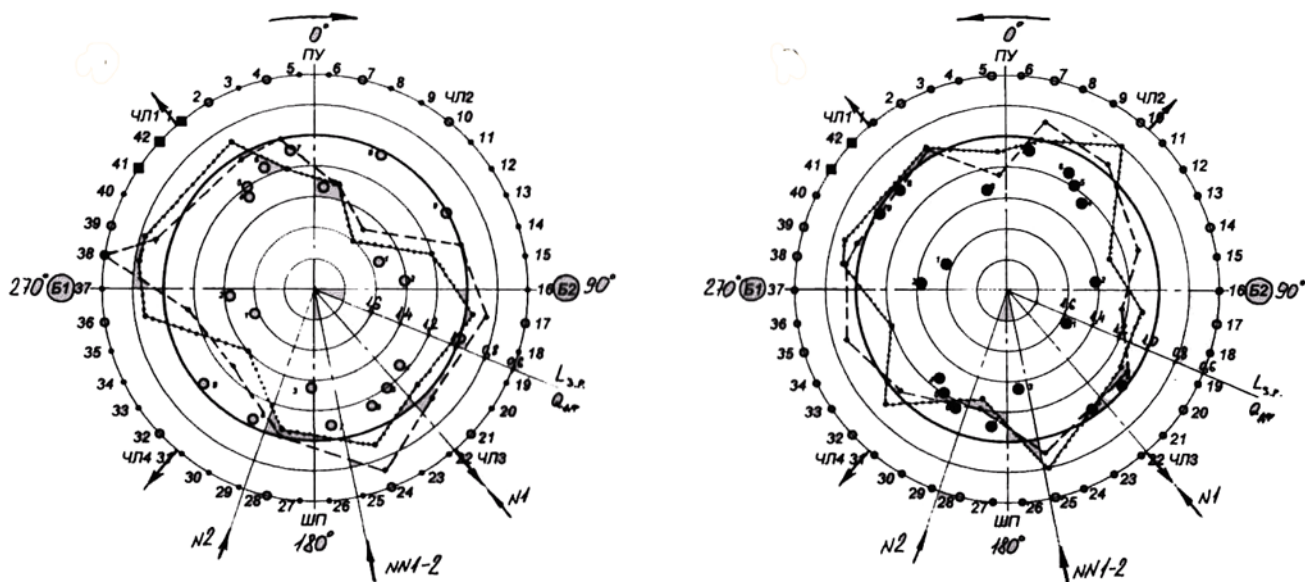


Рис. 1. Протяженность зоны разрыхления ($L_{з.р.}$, доли ед.) и распределение дутья ($Q_{дф}$, доли ед.) по воздушным фурмам ДП № 9 КГГМК «Криворожсталь» при правом (а) и левом (б) вращениях лотка БЗУ: а) период I; б) период II; $---$ $L_{з.р.}$; $.....$ $Q_{дф}$. ПУ, ШП, Б, ЧЛ - пылеуловители, шихтоподача, бункера БЗУ, летки; 1...42 - №№ воздушных фурм; №1, №2 - подводы горячего дутья в кольцевой воздухопровод печи; \odot , \bullet - центры «локальных зон» с пониженной газопроницаемостью столба шихты при правом и левом направлениях вращения лотка БЗУ (номера у точек - угловые позиции лотка); \circ - воздушные фурмы, через которые осуществлялось зондирование горна спустя 1,5 часа после остановки печи (№№ 2, 4, 5, 7, 10, 14, 17, 20, 24, 25, 28, 32, 35, 36, 38, 39)

Для оценки распределения дутья по воздушным фурмам ДП № 9 в период ее работы перед выдувкой на капремонт 1-го разряда (13.05.03 в 12⁰⁰) и в процессе выдувки расход на каждую воздушную фурму определялся по тепловым нагрузкам на водоохлаждаемые сопла фурменных приборов и рассчитывался по методике ИЧМ [5].

Протяженность зон разрыхления у фурм определялась зондированием рабочего пространства печи через фурменный прибор металлическим стержнем диаметром 20 мм и длиной 6 м. Зондирование производилось вручную на остановках печи после перевода ее на «тягу». При этом протяженность зоны разрыхления определялась расстоянием, пройденным от торца фурмы до полной его остановки (упора)

под воздействием сопротивления, оказываемого столбом шихты. Протяженность зон разрыхления у воздушных фурм (см. рис. 1) при работе печи в первом периоде измерений с расходом дутья 7680 м³/мин ($V_0 = 220$ м/с) и тремя закрытыми фурмами № 41, 42 и 1 изменялась в пределах 0,6-1,4 м от среза фурмы и составила, в среднем, 1,0 м. Во втором периоде при увеличении расхода дутья до 8000 м³/мин ($V_0 = 227$ м/с) и подачей его через 40 фурм (закрыты фурмы №№ 41 и 42) глубина зоны разрыхления увеличилась, в среднем, до 1,5 м и изменялась в пределах 1,35-1,9 м (см. рис. 1). В обоих периодах природный газ по воздушным фурмам распределялся практически равномерно. Колеблемость его расхода по фурмам составляла $\pm 5-10\%$.

Распределение объемной доли CO₂ в радиаль-

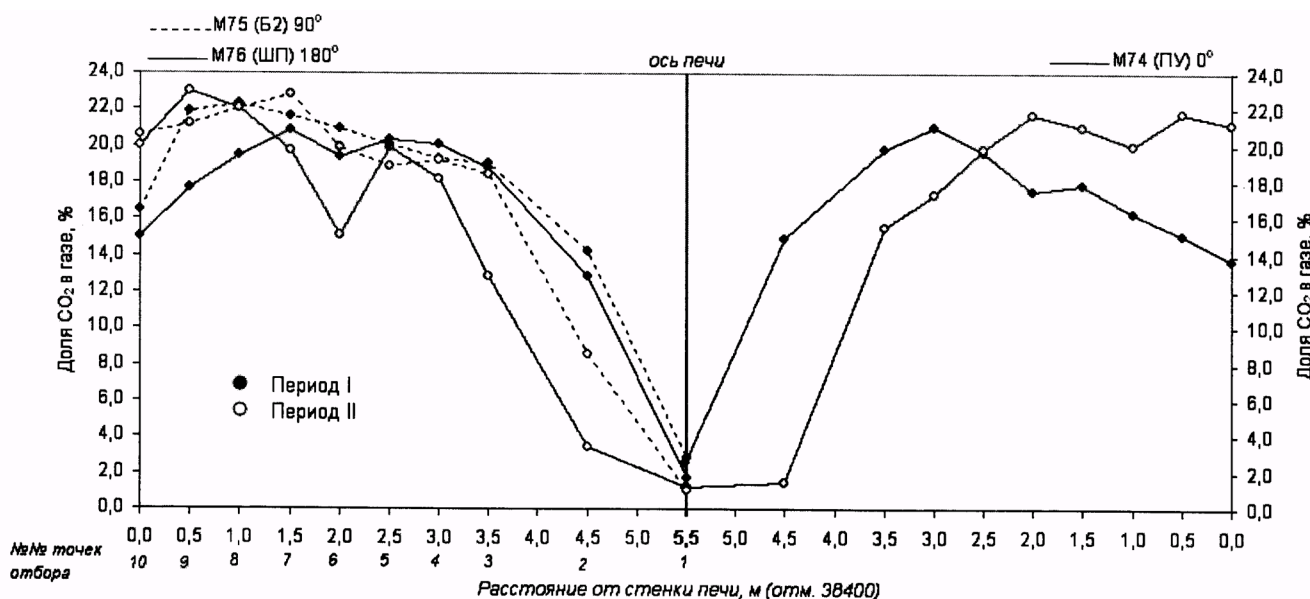


Рис. 2. Распределение CO₂ по радиусу ДП № 9 КГГМК «Криворожсталь»

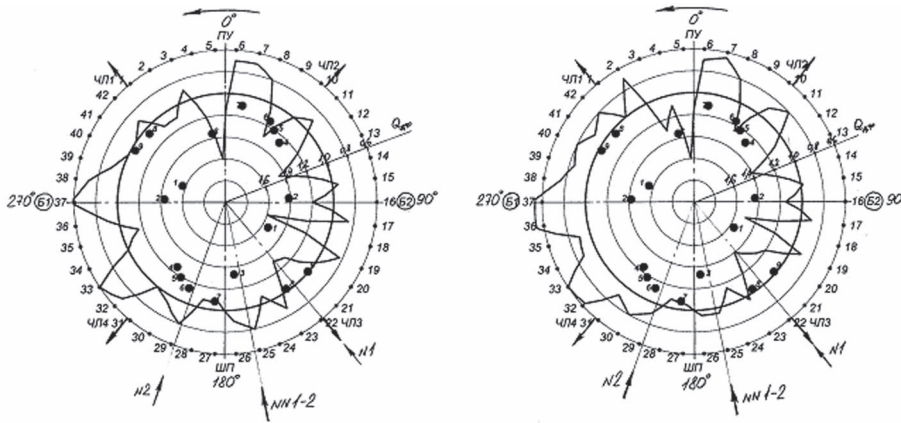


Рис. 3. Распределение дутья ($Q_{дф}$, доли ед.) по воздушным фурмам ДП№9 КГГМК "Криворожсталь": а) - перед выдувкой печи 13.05.03 г. ($Q_{дф}=8200$ м³/мин); б) - при выдувке печи до среднего горизонта (отм. ≈ 26000) ($Q_{дф}=4500-6000$ м³/мин)

ном газе (рис. 2) показывает что параметры дутьевого режима совместно с программой загрузки обеспечивали в первом периоде преимущественное развитие периферийного, а во втором периоде — осевого газового потока, что характеризовалось большей протяженностью фурменного очага вглубь горна, а следовательно и активности его центральной части во втором периоде, в сравнении с первым.

По окружности печи изменение протяженности зон разрыхления у фурм происходило в соответствии с изменением количества дутья, а следовательно, его кинетической энергии и скорости истечения из фурм, в зависимости от расположения на поверхности засыпи шихты «локальных» зон с пониженной газопроницаемостью слоев материала в столбе шихты [3] при загрузке ее с правым — по ходу часовой стрелки (первый период) и левым — против хода часовой стрелки (второй период) вращениями лотка БЗУ. В секторах печи под «локальными» зонами расход дутья на расположенные здесь фурмы и протяженность зон разрыхления снижались, увеличиваясь в секторах между «зонами» (см. рис. 1).

Для обоих периодов снижение протяженности фурменного очага в радиальном направлении, а следовательно, и увеличение поперечных размеров «то-термана» в горне и приближение границ его основания к стенке печи, наблюдалось в секторе печи между Б1 и ЧЛ1. В то же время, при загрузке печи с левым вращением лотка БЗУ (период II), в отличие от правого вращения (период I), снижается колеблемость протяженности фурменных очагов и дутья по окружности печи (см. рис. 1).

В начале выдувки печи дутье по воздушным фурмам распределялось в достаточном соответствии с расположением на поверхности засыпи «локальных» зон [4], образованных при загрузке печи с левым вращением лотка БЗУ в течение 48 часов (рис. 3). В секторах печи под «зонами» расход дутья на расположенные в секторе фурмы снижался и увеличивался в секторах между «зонами».

После прекращения загрузки печи в 14⁰⁰ 13.05.03 г. и выдувки ее до среднего горизонта шах-

ты (отм. ≈ 26000 , уровень засыпи 15-16 м, освобожденный объем печи — ≈ 1960 м³, оставшийся до уровня фурм объем — ≈ 2230 м³) расход подаваемого в печь дутья был снижен от 8000 до 5250 м³/мин, количество дутья по фурмам к 20⁰⁰ перераспределилось в сторону его уменьшения (на 40-50 % от среднего значения на фурму) в секторе печи: ЧЛ4-Б1-ЧЛ1 и увеличения на 10-20 % в секторе — ШП-ЧЛ3. Максимальный расход дутья до выдувки и в процессе выдувки проходил через фурмы, расположенные в секторе ЧЛ2-Б2-ЧЛ3 (рис. 3).

Значительное снижение количества дутья, проходящего через фурмы в секторе печи: ЧЛ4-Б1-ЧЛ1, особенно в секторе Б1-ЧЛ1, по-видимому, вызвано усилившимся оползанием в горн масс гарнисажа заплечиков, а также гарнисажа, сохранившегося в верхней части шахты после проплавки на печи 6-8.05.03 г. кислых окатышей Полтавского ГОКа с основностью $CaO/SiO_2=0,13$ ед., и из-за уменьшения общего расхода дутья подаваемого в печь и развития пристеночного потока газов в печи. Температура периферии в этом секторе сохранялась максимальной и, несмотря на полив шихты водой, достигала 480-500 °С. До выдувки она составляла 350-400 °С. Приход масс гарнисажа на горизонт воздушных фурм создавал препятствие прохождению дутья вглубь горна.

Создававшаяся неравномерность распределения дутья по фурмам до и в период выдувки печи обусловила радиальную неравномерность развития фурменных очагов по периметру печи, в результате которой ось конуса остаточного кокса в центре горна после остановки печи была смещена в сектор: ЧЛ1-Б1-ЧЛ4, где расход дутья на фурмы при выдувке печи был меньше средней его величины (см. рис. 3).

В то же время, в секторе с пониженным расходом дутья: ЧЛ1-Б1-ЧЛ4, уровень сошедшего и оставшегося у стенки печи гарнисажа после ее остановки и выпуска «козлового» чугуна достигал верха холодильников 2-го ряда заплечиков и был ниже, чем в секторе печи: ЧЛ2-Б2-ЧЛ3, где расход дутья на фурмы был больше среднего на фурму, а уровень гарнисажа достигал верха холодильных плит 2-го ряда шахты. Указанное расположение границы гарнисажа у стенки печи вызвано, по-видимому, расплавлением и ускоренным его сходом со стен заплечиков и шахты в горн под воздействием усилившегося периферийного газового потока в секторе печи с меньшим расходом дутья на фурмы и, наоборот, замедленным разогревом и сходом гарнисажа в секторе с большим расходом дутья, из-за ослабления потока газа на периферии.

Таким образом, результаты экспериментальных исследований показывают существенное влияние особенностей окружного распределения шихты и

конструкции тракта подвода горячего дутья к фурмам на распределение дутья по окружности печи, а следовательно, газового потока и ровности схода шихты.

Совершенствование окружного распределения шихты и газового потока должно осуществляться путем выбора рациональной периодичности смены направления вращения лотка и вида шихтовых материалов в бункерах БЗУ, а также, как показали исследования [6], пропорционированием расхода природного газа по фурмам в соответствии с расходом дутья на каждую фурму. Для этого на печи № 9 наряду с имеющейся системой контроля распределения дутья по воздушным фурмам целесообразно создание подсистемы автоматизированного управления режимом работы лотка БЗУ (периодичность смены и направления его вращения) и изменением вида шихтовых материалов в бункерах БЗУ.

Библиографический список

1. Большаков В.И. Теория и практика доменных печей. – М.: Металлургия, 1990. – 256 с.
2. Кройц Л., Гуденау Х., Штандиш В. Влияние на

симметрию распределения материалов в доменной печи при применении засыпного аппарата с вращающимся желобом // Черные металлы. - 1991. – № 3. – С. 26-32.

3. Доменное производство «Криворожстали» / Под ред. чл.-корр. НАН Украины В.И.Большакова. Изд. «Криворожсталь» - ИЧМ. Днепропетровск, 2004. – 376 с.

4. Распределение шихты и газового потока в доменной печи большого объема / Большаков В.И., Варивода И.Е., Шулико С.Т. и др. // Прогрессивные процессы и оборудование металлургического производства: Мат. первой Международ. научн.-техн. конф. – Череповец: ЧГУ, 1998. - С. 15-18.

5. Канаев В.В., Кобеза И.И., Бузовера М.Т. и др. Контроль распределения дутья по воздушным фурмам доменной печи // Металлург. и горноруд. пром-сть. - 1995. - № 2. - С. 69-71.

6. Большаков В.И., Шулико С.Т., Канаев В.В., Богачев Ю.А. Влияние распределения дутья и природного газа по фурмам на показатели работы доменной печи объемом 5500 м³. - В сб. «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии» (ИЧМ). Киев: Наук. думка, 1998. Вып. 2. - С. 51-57.

Поступила 03.03.05



УДК 669-154:669.162.2

В.И. Большаков /д.т.н./, Н.А. Гладков /к.т.н./, В.В. Лебедь

Институт черной металлургии НАН Украины

О составе и свойствах первичных и промежуточных доменных расплавов

Представлен анализ публикаций и результатов собственных исследований особенностей процессов формирования жидких фаз и их влияния на гидро-газодинамику доменной плавки. Ил. 1. Табл. 1. Библиогр.: 9 назв.

доменная плавка, железорудные материалы, зона плавления, первичный и промежуточный шлаки, состав, свойства, коксовая насадка, проницаемость

В обеспечении заданного качества продуктов плавки и оптимизации технологического режима работы доменной печи (газодинамика, массо- и теплообмен и др.) важная роль принадлежит формированию и свойствам жидких фаз. Роль шлакового режима в получении чугуна высокого качества хорошо известна. Особенности современных представлений о соответствующих условиях, приемах и подходах, обеспечивающих выплавку металла заданного состава и свойств, частично освещены в работе [1]. Ранее нами [2] проанализированы данные о составе и определяющих свойствах первичного, промежуточного и конечного расплавов, показаны наиболее вероятные изменения их расположения по сечению печи в соответствии с распределением рудной нагрузки.

Углубление развитых представлений показало,

что каждый из рассмотренных расплавов, последовательно превращаясь из первичного в конечный является определяющим в соответствующей зоне печи, заметно влияя на гидродинамические особенности плавки. Железорудный материал, расположенный в прослойках между слоями кокса в зоне плавления, постепенно из твердого переходит в размягченное состояние, из которого формируется расплав в виде отдельных капель на рудных частицах, а затем в виде отделяющихся от размягченной массы «сосулков», проникающих со стороны внутренней поверхности зоны плавления в слой кокса [3]. Состав образующегося первичного расплава формируется, в подавляющем большинстве случаев, на базе монооксида (вюстита FeO_x) железа, доля которого определяется уровнем восстановления. Состояние последнего зависит от основности исходного состава и свойств железорудного материала, а также тугоплавкости его пустой породы и может быть представлено файлитом ($FeO \cdot SiO_2$), оливином ($FeO \cdot SiO_2 \cdot CaO$), либо их эвтектиками. Не исключена, но маловероятна, возможность образования подвижных первичных расплавов на базе только безжелезистых оксидов, хотя более вероятно их взаимосвязывание с первичными

© В.И. Большаков, Н.А. Гладков, В.В. Лебедь, 2005 г.