

Ю. А. Зинченко, А. Г. Курпе, А. В. Форман, В. П. Русских*, В. Б. Семакова*, В. В. Семаков*

ЧАО «Мариупольский металлургический комбинат имени Ильича», Мариуполь

*ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», Мариуполь

Совершенствование режимов загрузки доменных печей ЧАО «ММК им. Ильича» в условиях вдувания пылеугольного топлива

Проведены лабораторные исследования радиального распределения рудной нагрузки на кокс при загрузке шихты циклами, обеспечивающими последовательную укладку в столбе материалов 4 скипов рудной шихты и 4 скипов кокса, при их различном разделении по подачам. На доменных печах, работающих с вдуванием пылеугольного топлива, внедрены циклы загрузки, подгружающие рудной частью периферийную зону.

Ключевые слова: агломерат, доменная печь, конусное загрузочное устройство, расход кокса, производительность.

Загрузка шихтовых материалов в доменные печи должна обеспечивать высокую степень использования энергии печных газов при нормальном сходе шихтовых материалов. Рациональная организация газораспределения должна удовлетворять двум противоположным требованиям: 1) обеспечение высокой степени использования тепловой и восстановительной энергии печных газов, что требует равномерного распределения железорудной части шихты и кокса по сечению печи; 2) обеспечение плавного схода шихтовых материалов, что требует целенаправленного создания неравномерного распределения материалов по радиусу колошника. Для выполнения этих требований используют такие технологические приемы, как изменение порядка загрузки шихтовых материалов на колошник, уровня засыпи шихты, массы подачи, режима опускания нижнего конуса, программы вращения распределителя шихты и др. [1].

Переход к отдельной загрузке доменных печей увеличенными порциями агломерата и кокса в доменном цехе ЧАО «ММК им. Ильича» позволил снизить удельный расход кокса на выплавку чугуна на 26 кг/т чугуна при увеличении производительности доменных печей в сопоставимых условиях на 4% [2], а загрузка доменных печей утяжеленными подачами явилась одним из условий эффективного вдувания в горн доменных печей пылеугольного топлива [3], которое сопровождается значительным сокращением доли кокса в столбе шихтовых материалов и изменением газодинамических условий доменной плавки. Следовательно, вдувание в доменные печи пылеугольного топлива требует, прежде всего, совершенствования систем загрузки шихтовых материалов.

Переход на технологию выплавки чугуна с вдуванием пылеугольного топлива (ПУТ) значительно сократил удельный расход кокса на доменных печах ЧАО «ММК им. Ильича», а рудная нагрузка на кокс увеличилась с 3,4 до 4,5–4,8 кг/кг. При этом высота слоев кокса сократилась примерно на 26%, что по-

требовало компенсации потери газопроницаемости слоя, например, за счет увеличения коксовой колоши. На доменной печи № 5, работавшей с рудной нагрузкой 4,5 кг/кг кокса при загрузке подачами КККК↓ АААА↓, повышение массы коксовой колоши m_k с 6,9 до 7,2 т способствовало росту производительности печи на 2%. Рост газопроницаемости столба шихтовых материалов при повышении высоты прослойки кокса подтверждается снижением перепада давления газа ΔP (рис. 1) в печах № 2 (а) и 5 (б). Повышение газопроницаемости столба шихты обеспечило более производительную работу доменных печей.

Анализ влияния на суточную производительность $P_{сут}$ доменной печи № 3 пяти аргументов – удельного расхода ПУТ $P_{ПУТ}$, кг/т чугуна, расхода дутья P_d , м³/мин, содержания железа в железорудной части шихты Fe_w , %, механической прочности кокса M_{25} , %, и температуры дутья T_d , °С – проведен методом множественной линейной корреляции (объем выборки $n = 21$).

Коэффициент множественной корреляции составил 0,935, коэффициент множественной детерминации $r^2 = 0,874$, то есть влиянием рассмотренных факторов на 87,4% было обусловлено изменение производительности доменной печи. Критерий надежности $t = 34$, что больше 2,6, и связь между параметрами считается статистически достоверной. Изменение суточной производительности печи в рассматриваемом периоде на 48,07% обусловлено изменением расхода дутья, на 32,7% его температурой, на 6,45% – расходом ПУТ. Вследствие незначительных колебаний показателей качества сырья их доли влияния составили менее 1,0%: $M_{25} - 0,03\%$, $Fe_w - 0,17\%$. В результате анализа показателей работы доменной печи № 3 получена зависимость:

$$P_{сут} = -5629,4 + 1,19 P_{ПУТ} + 0,66 P_d + 2,86 Fe_w + 1,71 M_{25} + 5,91 T_d \quad (1)$$

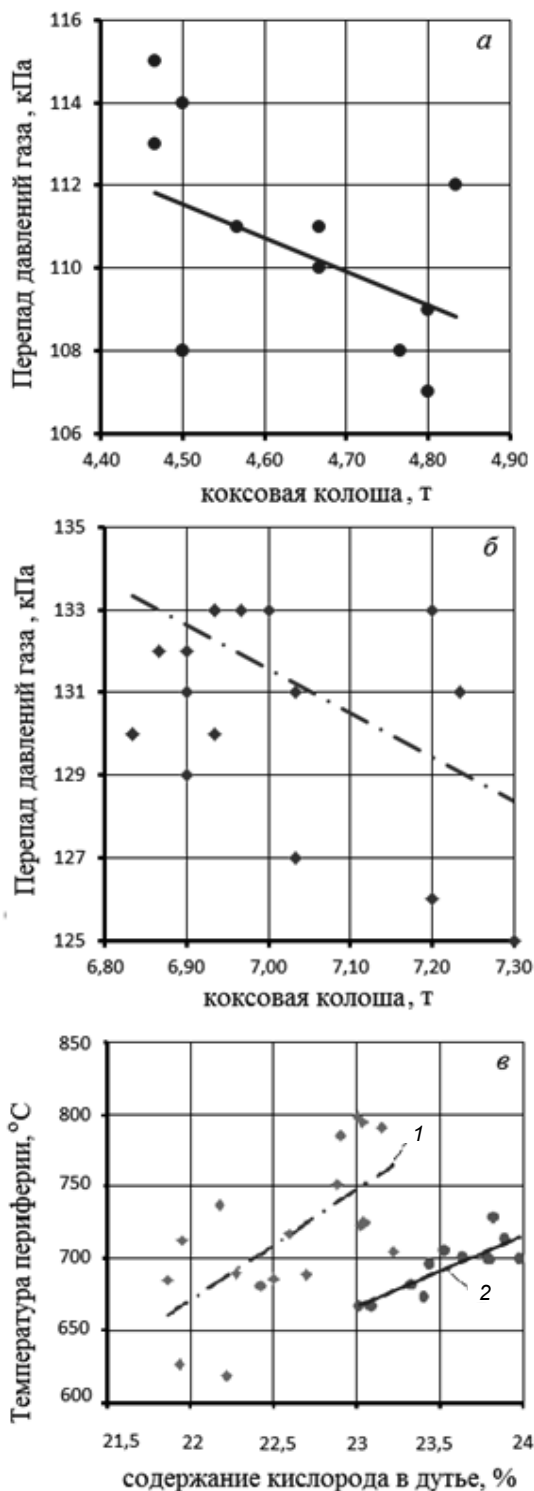


Рис. 1. Изменение общего перепада давления газа и температуры кладки под защитными плитами колошника доменных печей № 5 (1) и 2 (2)

Для сравнительного анализа эффективности вдувания ПУТ исследованы производственные данные о работе доменной печи № 3 в период с 2011 по 2014 г. (рис. 2).

Суточная производительность печи $P_{сут}$ при вдувании ПУТ повысилась на 2,7%: с 3347,5 (средняя в базовом периоде) до 3437,8 т/сут (средняя в опытном периоде). В опытном периоде средний расход ПУТ составил 131,8 кг/т чугуна, при этом средний удель-

ный расход кокса снизился на 21,8% по сравнению с базовым периодом: с 516,3 до 403,9 кг/т чугуна (до 407,2 кг/т с учетом коксового орешка). При вдувании ПУТ также снизился средний суммарный расход углерода C_{Σ} с 480,8 до 455,3 кг/т чугуна, что также обусловлено практически полным прекращением подачи в печь природного газа.

Эффективному внедрению вдувания ПУТ в горн доменных печей ЧАО «ММК им. Ильича» способствовала их загрузка увеличенными отдельными порциями железорудных материалов и кокса. Благодаря формированию в столбе шихтовых материалов высоких коксовых слоев при внедрении технологии вдувания ПУТ в доменном цехе ЧАО «ММК им. Ильича», суммарный коэффициент замены кокса ПУТ составил 1,04-1,06 кг/кг и был достигнут наибольший расход ПУТ 169,7 кг/т чугуна (июнь 2013 г.) в сравнении с печами ОАО «Запорожсталь» (148 кг/т) и ПАО «Алчевский МК» (139 кг/т).

В то же время применение отдельных утяжеленных подач исключает управление радиальным распределением шихты и газов с помощью изменения порядка загрузки агломерата и кокса в доменную печь. При необходимости регулирования газораспределения переходили к смешанным системам загрузки, что сопровождалось повышением удельного расхода кокса. Повышение удельного расхода ПУТ приводило к увеличению интенсивности прогара элементов системы охлаждения нижней части шахты, маратора и заплечиков (рис. 3).

Кроме того, при загрузке печей увеличенными отдельными порциями железорудных материалов и кокса наблюдалось повышение температуры периферии до 685 °С, что свидетельствовало о развитии периферийного газового потока. Повышение температуры под защитными плитами колошника t_n имеет тесную статистическую зависимость с содержанием кислорода в дутье O_d . По производственным данным (рис. 1, в) коэффициент парной линейной корреляции между t_n и O_d составил 0,83 (ДП № 2) и 0,66 (ДП № 5).

Для сохранения системы охлаждения нижней части доменной печи необходимо применять системы загрузки шихты, понижающие интенсивность газового потока в периферийной зоне и способствующие усилению развития газового потока в осевой зоне печи.

С целью определения влияния систем загрузки на распределение шихтовых материалов, а, следовательно, и газов, по радиусу доменной печи проведены экспериментальные исследования на секторной модели колошника М 1 : 10, представленной сектором колошника с прозрачными боковыми стенками, между которыми расположен сектор нижнего конуса и чаши засыпного аппарата (рис. 4).

При проведении исследований приняты следующие параметры загрузки: масса рудной колоши (2 скипа) – 27 т, масса коксовой колоши (2 скипа) – 5,7 т, уровень засыпи – 1,75 м, угол наклона поверхности материала на колошнике перед загрузкой – 18°. По пяти радиальным зонам колошника определялась масса агломерата и кокса, по которым рассчитывалась относительная рудная нагрузка:

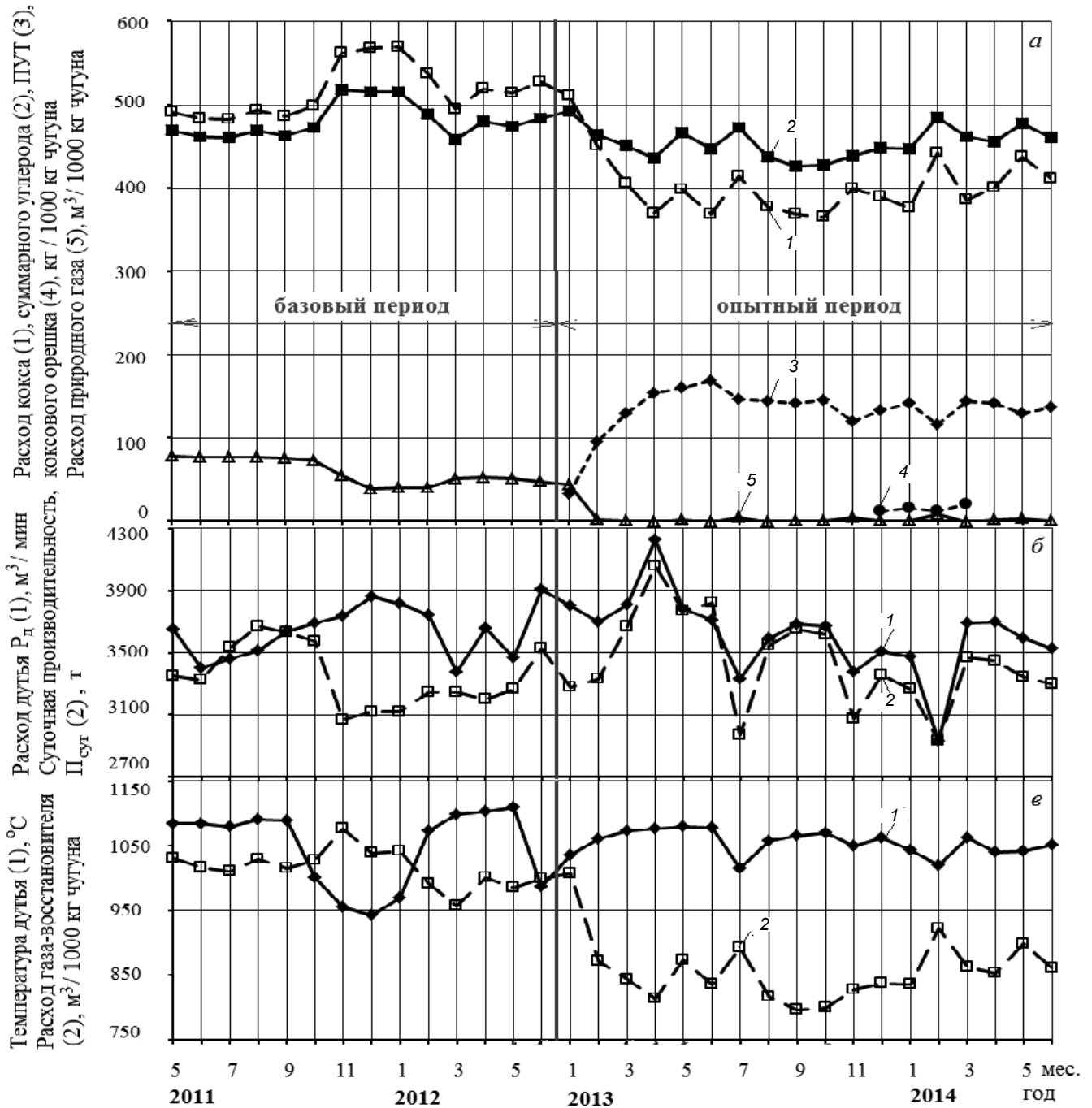


Рис. 2. Показатели работы доменной печи № 3 ЧАО «ММК им. Ильича» в 2011-14 гг.

$$PH_i^o = \frac{PH_i}{PH_n}, \text{ д. ед.}, \quad (2)$$

материалов: 1 – AAAA↓; 2 – AAA↓; 3 – KAA↓; 4 – KKA↓; 5 – AA↓; AAKKK↓; что позволяет формировать

где PH_i и PH_n – рудная нагрузка на кокс в i -той зоне и в подаче в целом, кг/кг кокса.

На модели первая радиальная зона находилась у стен колошника, а пятая – у оси доменной печи (ОДП). В зонах с $PH_i^o > 1$ газопроницаемость шихты и интенсивность газового потока пониженные, а в секторах с $PH_i^o < 1$ – наоборот, повышенные [4].

В лабораторных условиях исследовано радиальное распределение рудных нагрузок на кокс при различных циклах загрузки, обеспечивающих последовательную подачу в печь 4 скипов однородных

высокие газопроницаемые слои кокса.

Результаты экспериментов, представленные на рис. 5, показали, что раздельная загрузка увеличенных порций агломерата и кокса (цикл 1), которая применяется в доменном цехе ЧАО «ММК им. Ильича» с 2001 г., при повышении рудной нагрузки до 4,8 кг/кг кокса способствует относительно равномерному ее распределению по секторам колошника с несколько разгруженной периферией $PH_i^o = 0,79$ д. ед. (линия 1), что и обусловило повышение температуры под защитными плитами колошника.

Загрузка отдельной трехскаковой подачи агломерата совместно со смешанной пятискаковой подачей, в которой первым загружается один скип агломерата, а затем четыре скипа кокса (цикл 2), разгружает сектор, находящийся у оси ДП

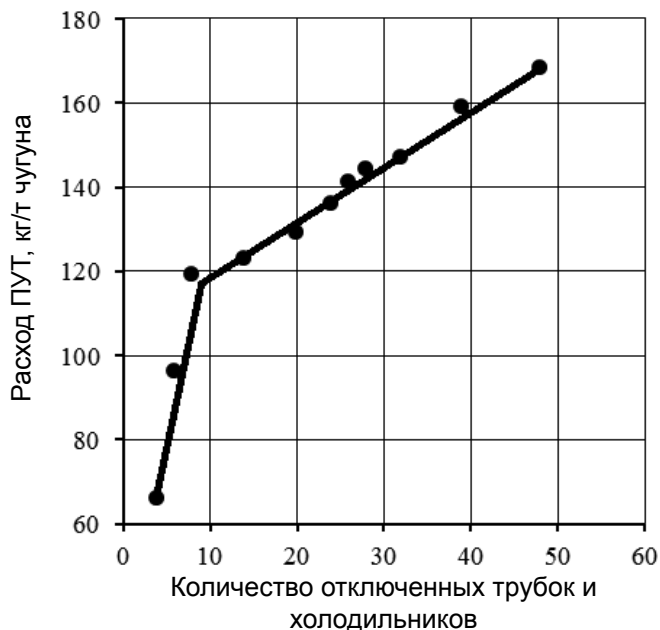


Рис. 3. Влияние расхода ПУТ на систему охлаждения нижней части доменной печи



Рис. 4. Общий вид секторной модели колошника

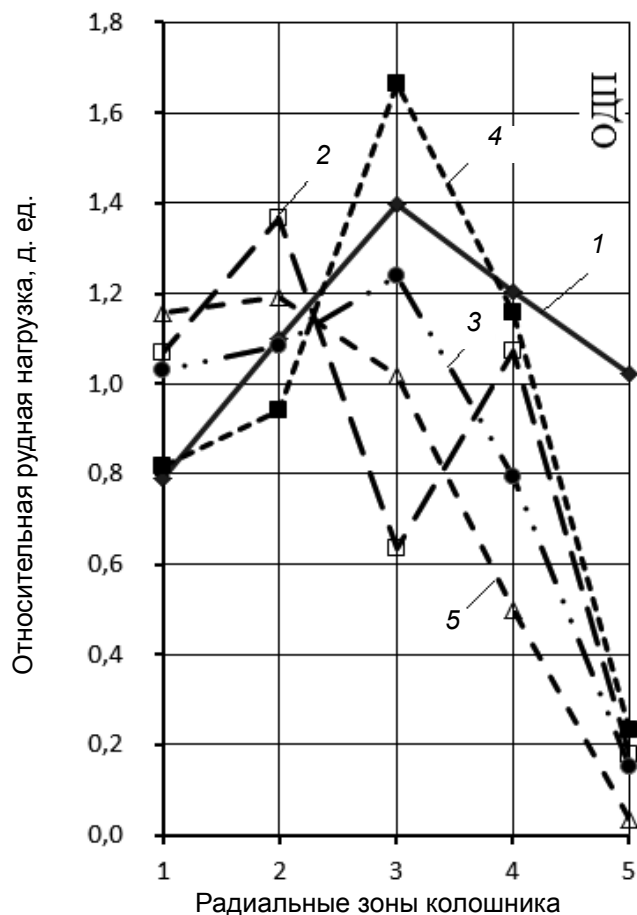


Рис. 5. Распределение рудных нагрузок по радиальным зонам секторной модели колошника

(ОДП), $RH_5^o = 0,18$ д. ед., подгружая периферию $RH_1^o = 1,07$ д. ед., и характеризуется двумя рудными гребнями $RH_2^o = 1,37$ д. ед. и $RH_4^o = 1,07$ д. ед. (линия 2, волновое распределение RH).

Рациональное радиальное распределение рудных нагрузок обеспечивает цикл № 3, более равномерно подгружающий периферийную и раскрывающий осевую зоны, при большем раскрытии центра ($RH_5^o = 0,15$ д. ед.) с максимальной $RH_3^o = 1,24$ д. ед. в промежуточной зоне и пониженной у стен $RH_1^o = 1,03$ д. ед., что способствует формированию умеренно развитого периферийно-осевого газового потока (линия 3).

Цикл № 4 (линия 4) в большей мере разгружает периферийную зону, максимально подгружая промежуточную – $RH_3^o = 1,66$ д. ед. и прилегающую к ней часть центральной, при раскрытии осевой зоны ($RH_5^o = 0,23$ д. ед.).

Наибольшему раскрытию центра способствует цикл № 5, состоящий из отдельной двухскаковой подачи агломерата и смешанной шестискаковой подачи, в которой первыми загружаются два скипа агломерата, а затем четыре скипа кокса (линия 5). При этом относительная рудная нагрузка в центре составляет 0,04 д. ед., а на периферии – 1,16 д. ед. Данная система загрузки способствует формированию осевого газового потока, обеспечивающего более экономичную работу печи.

Показатели работы доменной печи № 2

Показатель	Система загрузки	
	АААК↓ АККК↓	ААКК↓ ААК↓.
Суточное производство, т/сут	2516,6	2680
Удельная производительность, т/(м ³ ·сут)	1,936	2,062
Удельный расход кокса, кг/т чугуна	423,95	396,2
Содержание кремния в чугуне, %	0,631	0,610
Текущие простои, %	1,042	1,38
Тихий ход, %	0	1,26
Содержание железа в шихте, %	53,04	54,02
Давление под колошником, кПа	131,9	138
Расход ПУТ, кг/т чугуна	130,57	139,2
Расход известняка, кг/т чугуна	0	2,1
Температура дутья, °С	892	912
Содержание кислорода в дутье, %	23,74	23,64

В производственных условиях переход на загрузку печи подачами АКККК↓ ААА↓ привел к снижению температуры периферии на 105 °С вследствие ее подгрузки железорудными материалами. При этом наблюдался нестабильный сход шихтовых материалов в доменной печи вследствие волнового характера распределения рудных нагрузок.

Для большего снижения t_n целесообразно применять системы загрузки, в которых агломерат загружается отдельными двухскиповыми подачами, либо первыми двумя скипами смешанной подачи с ожиданием достижения заданного уровня засыпи h , а коксовая подача – без ожидания достижения h :

АА↓ АА↓
ААК↓ КК↓ или АА↓ ККК↓

при этом эффективность применения данных циклов определяется интенсивностью доменной плавки [5].

В доменном цехе ЧАО «ММК им. Ильича» опробована система загрузки, сочетающая цикл № 3 и отдельную двухскиповую подачу железорудных материалов. Изменение технологии загрузки доменной печи № 3 с системы АКККК↓ ААА↓ на ААКК↓ КАА↓ АА↓ обеспечило повышение производительности печи на 2% при снижении удельного расхода кокса на 14 кг/т чугуна в сопоставимых условиях. При этом температура под защитными плитами колошника снизилась до 551 °С.

В условиях нестабильных поставок и показателей качества сырьевых материалов, а также в связи с конструктивными особенностями, доменная печь № 2 загружалась по схеме АААК↓ АККК↓. Однако температура периферии оставалась повышенной до 625 °С, снизившись на 72 °С по сравнению с загрузкой отдельными утяжеленными подачами.

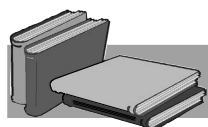
Для снижения температуры под защитными плитами колошника с апреля 2016 г. производилась загрузка печи № 2 по схеме ААКК↓ ААК↓. В этом случае при сохранении высокой прослойки кокса, загруженного последовательно тремя скипами, рудная часть в большей мере концентрировалась у стен печи (четыре скипа агломерата с тонкой прослойкой кокса, загруженного одним скипом), что обеспечило развитие устойчивого осевого газового потока. Загрузка доменной печи по данной схеме позволила

снизить расход кокса на 10,5 кг/т чугуна при повышении ее производительности на 3,5% в сопоставимых условиях (таблица).

Температура под защитными плитами колошника снизилась до 563 °С. Кроме того, данная система загрузки будет способствовать эффективному применению в шихте коксового орешка, выделенного в отдельный скип подачи ААК↓, что обеспечит его укладку тонкой прослойкой в слое железорудных материалов.

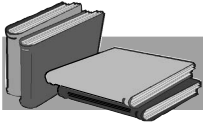
Выводы

На доменных печах, оборудованных конусными загрузочными устройствами, существует резерв оптимизации радиального распределения шихты и газов за счет изменения порядка загрузки материалов в циклах из нескольких подач, что также позволяет формировать высокие слои однородных материалов.



ЛИТЕРАТУРА

1. Тарасов В. П. Газодинамика доменного процесса / В. П. Тарасов. – М.: Металлургия, 1990. – 216 с.
2. Управление периферийным газовым потоком при раздельной загрузке доменных печей увеличенными порциями агломерата и кокса на ОАО «ММК им. Ильича» / Н. В. Косолап [и др.] // Новые технические решения в практике производства чугуна: Международная научно-техн. конф., г. Запорожье, 7-8 июля 2005 г. – 4 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://zap.www.kiev.ua/off-line/news/conference/solutions/reports/Gaz_potoki.pdf.
3. Семакова В. Б. Вдувание пылеугольного топлива в доменные печи ПАО «ММК им. Ильича» при их загрузке утяжеленными подачами / В. Б. Семакова, Ю. А. Зинченко, Ю. О. Шадловский // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2016. – № 3. – С. 18-21.
4. Томаш А. А. Методы достижения соответствия радиального распределения шихты и газов в доменной печи, оборудованной конусным загрузочным устройством / А. А. Томаш, В. П. Тарасов, Д. Е. Шапиро-Никитин // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту : зб. наук. праць / ПДТУ. – Маріуполь, 2003. – Вип. 13. – С. 9-13.
5. Пат. 110911 Україна. МПК С21В 7/20, F27В 1/20. Зінченко Ю. А. Спосіб завантаження доменної печі / Ю.А. Зінченко [та ін.]; заявник і патентовласник ДВНЗ «ПДТУ». – № u201603952; заявл. 11.04.2016; 25.10.2016, Бюл. № 20/2016.



REFERENCES

1. Tarasov V. P. (1990). Gazodinamika domennogo processa. [Gas dynamics of blast-furnace process]. Moscow: Metallurgia, 216 p. [in Russian].
2. Kosolap N. V. et al. Upravlenie periferiynym gazovym potokom pri razdel'noi zagruzke domennykh pechei uvelichennymi porcijami aglomerata i koksa na OAO «MMK im. Il'icha». [Management of a peripheral gas flow in case of separate loading of blast furnaces in the increased portions of agglomerate and coke on JSC MMK of Ilyich]. Novye tekhnicheskie resheniia v praktike proizvodstva chuguna: Mezhdunarodnaia nauchno-tekhn. konf., g. Zaporozh'e, 7-8 iulya 2005 g. New technical solutions in practice of cast iron production: International scientific tech. conf., Zaporizhia, on July 7-8, 2005, 4 p. Retrieved from: http://zap.www.kiev.ua/off-line/news/conference/solutions/reports/Gaz_potoki.pdf. [in Russian].
3. Semakova V. B., Zinchenko Yu. A., Shadlovskii Yu. O. (2016). Vduvanie pyleugol'nogo topliva v domennye pechi PAO «MMK im. Il'icha» pri ikh zagruzke utiazhelennymi podachami. [Inflation of coal-dust fuel in blast furnaces of PJSC MMK of Ilyich in case of their loading by the weighted giving]. Metallurgicheskaia i gornorudnaia promyshlennost', no 3, pp. 18-21. [in Russian].
4. Tomash A. A., Tarasov V. P., Shapiro-Nikitin D. E. (2003). Metody dostizheniia sootvetstviia radial'nogo raspredeleniia shihty i gazov v domennoi pechi, oborudovannoi konusnym zagruzochnym ustroistvom. [Methods of achievement of compliance of radial distribution of furnace charge and gases in the blast furnace equipped with the conical loading devices]. Visnik Priazov. derzh. tekhn. un-tu : zb. nauk. prac', Mariupol', Vyp. 13, pp. 9-13. [in Russian].
5. Pat. 110911 of Ukraine MPK C21B 7/20, F27B 1/20. Sposib zavantazhennia domennoi pechi. Zinchenko Yu. A. et al., no u201603952, zaiavl. 11.04.2016; 25.10.2016, Bul. 20/2016. [in Ukrainian].

Анотація

Зінченко Ю. А., Курпе О. Г., Форман А. В., Руських В. П., Семакова В. Б., Семаков В. В.
Вдосконалення режимів завантаження доменних печей
ПАТ «ММК ім. Ілліча» в умовах вдування пиловугільного палива

Проведено лабораторні дослідження радіального розподілу рудного навантаження на кокс при завантаженні шихти циклами, що забезпечують послідовне укладання в стовпі матеріалів 4 скіпів рудної шихти і 4 скіпів коксу при їх різному розділенні на подачах. На доменних печах, які працюють з вдуванням пиловугільного палива, впроваджені цикли завантаження, що підвантажують рудною частиною периферійну зону.

Ключові слова

Агломерат, доменна піч, конусний завантажувальний пристрій, витрата коксу, продуктивність.

Summary

Zinchenko Yu., Kurpe A., Forman A., Russkikh V., Semakova V., Semakov V.
Improvement of the modes of loading of blast furnaces PJSC «Ilyich Iron and Steel Works» in the conditions of inflation of coal-dust fuel

Laboratory researches of radial distribution of ore load of coke when loading furnace charge are conducted by the cycles providing consecutive laying in a column of materials of 4 skips of ore furnace charge and 4 skips of coke at their various division according to giving. On the blast furnaces working with inflation of pulverized coal the loading cycles loading an ore part a peripheral zone are introduced.

Keywords

Agglomerate, blast furnace, conical loading device, coke consumption, performance.

Поступила 02.12.16