

8. Пат. 98066 С2 Україна, МПК (2012.1) С21В 5/00. Спосіб ведення доменної плавки: Пат. 98066 С2 Україна, МПК (2012.1) С21В 5/00 / Д. О. Степаненко, Д. М. Тогобицька, А. Ф. Хамхотько (Україна) – № а201103324; Заявлено 21.03.2011; Опубл. 10.04.2012, Бюл. № 7.– 3 с.

9. Тогобицкая Д. Н. Оценка гетерогенизации шлаковых расплавов при выборе рационального шлакового режима доменной плавки / Д. Н. Тогобицкая, Д. А. Степаненко, А. Ф. Хамхотько // Сталь. – 2013. – № 2. – С. 14–18.

10. Пат. 107387 С2 Україна, МПК (2014.1) С21D 5/00. Спосіб дослідження фазових пере-

творень розплавів електроліту / Д. О. Степаненко, Д. М. Тогобицька, А. Ф. Хамхотько (Україна) – № а201301986; Заявлено 18.02.2013; Опубл. 25.12.2014, Бюл. № 24. – 3 с.

11. Пат. 110572 С2 Україна, МПК (2015.1) С21В 5/00. Спосіб доменної плавки луговмісної шихти: Пат. 110572 С2 Україна, МПК (2015.1) С21В 5/00 / Д. М. Тогобицька, Н. А. Цівата, А. І. Белькова, Д. О. Степаненко (Україна) – № а201411529; Заявлено 23.10.2014; Опубл. 12.01.2016, Бюл. № 1.– 4 с.

Поступила 14.02.2016



УДК 669.162.267.4

Производство

В. Б. Семакова /к. т. н./
ГВУЗ «ПГТУ»

Ю. А. Зинченко, Ю. О. Шадловский
ПАО «ММК им. Ильича»

Вдувание пылеугольного топлива в доменные печи ПАО «ММК им. Ильича» при их загрузке утяжеленными подачами

Проанализированы результаты промышленных исследований вдувания пылеугольного топлива в горн доменных печей при различных системах загрузки.

Установлено, что загрузка доменных печей увеличенными порциями железорудных материалов и кокса, обеспечивающая формирование больших коксовых окон в зоне плавления шихты, является одним из компенсирующих мероприятий, направленных на улучшение газопроницаемости столба шихтовых материалов при повышенном расходе ПУТ. (Ил. 1. Табл. 3. Библиогр.: 8 назв.)

Ключевые слова: пылеугольное топливо, рудная нагрузка, загрузка шихты, суммарный коэффициент замены кокса.

Analyzed were the results of industrial research of powder coal injection into the hearth of blast furnaces at different charging systems, on the basis of the dynamics of alternation of aggregate ratio of coke replacement with PCF.

It was found out that charging of blast furnaces with increased portions of iron ore materials and coke, ensuring formation of high coke layer in the charge is one of compensating methods, aimed at improving gas permeability of the column of charge materials at increased PCF consumption.

It was shown that operation of a blast furnace, charged with heavier supplies at peripheral increased ore loads and more intense axial gas flow could be quite beneficial.

Key words: powder coal fuel, ore load, supply, aggregate replacement ratio.

В настоящее время более чем в 30 странах мира в связи с дефицитом дорогостоящего природного газа применяют комплексы по вдуванию пылеугольного топлива (ПУТ) в горн доменных печей. Максимальные расходы ПУТ колеблются от 150 до 230 кг/т чугуна [1]. Для повышения расхода ПУТ применяют компенсирующие мероприятия: повышение температуры ду-

тья и содержания в нем кислорода, улучшение качества шихтовых материалов, использование коксового орешка совместно с железорудными материалами, формирование осевой отдушины [1–4] и др. Одним из негативных последствий применения пылеугольного топлива в доменной плавке является ухудшение газопроницаемости столба доменной шихты в результате по-

вышения рудной нагрузки на кокс и снижения высоты коксовых окон.

Целью данной работы является анализ эффективности вдувания ПУТ в доменные печи ПАО «ММК им. Ильича» при различных системах загрузки, определяющих газопроницаемость столба шихтовых материалов, в том числе за счет формирования увеличенных коксовых окон.

В доменном цехе ПАО «ММК им. Ильича» в июне 2013 г. был достигнут наибольший в сравнении с печами ОАО «Запорожсталь» и ПАО «Алчевский МК» расход ПУТ 169,7 кг/т чугуна (табл. 1) [5].

Анализ эффективности вдувания ПУТ (опытный период) в доменную печь № 3 ПАО «ММК им. Ильича» (табл. 2), проведенный на основании расчета суммарного коэффициента замены кокса дополнительным топливом [2], который определялся отношением снижения расхода кокса, полученного за счет вдувания пылеугольного топлива и осуществления компенсирующих мероприятий, к расходу пылеугольного топлива, показал, что $\Sigma K_3 = 1,06$ кг/кг ПУТ.

Согласно [2], при величине $\Sigma K_3 > 1,0$ вдувание ПУТ сопровождается улучшением комплекса технологических условий плавки, определяющих по мере увеличения расхода топлива рост производительности и показатели экономичности плавки. При достижении указанного уровня

суммарного коэффициента замены кокса ПУТ и дальнейшем его увеличении по мере повышения расхода топлива не происходят негативные изменения в состоянии технологического режима, которые бы ограничивали эффективность применения ПУТ.

Динамика изменения суммарного коэффициента замены кокса ПУТ ΣK_3 с октября 2012 г. по январь 2014 г. для доменной печи № 3 приведена на рис. 1 (кривая 1).

Наименьшие значения ΣK_3 наблюдались на начальном этапе вдувания ПУТ в условиях подбора оптимальных параметров компенсирующих мероприятий при переходе от загрузки печи отдельными увеличенными порциями кокса и агломерата к смешанным подачам (табл. 3).

В течение второго месяца вдувания угольной пыли в горн печи суммарный коэффициент замены кокса ПУТ составил 1,01 кг/кг благодаря изначальной загрузке печи утяжеленными подачами КККА↓ АААК↓. В октябре 2012 г. по сравнению с базовым периодом были незначительно повышены температура дутья на 2 °С и содержание кислорода в дутье на 0,03 % при резком снижении расхода природного газа с 59,1 до 2,3 м³/т чугуна с увеличением расхода ПУТ до 87 кг/т чугуна. При этом теоретическая температура горения повысилась до 2186 °С, т. е. на 116 °С выше базового уровня.

Таблица 1

Основные показатели работы доменных печей с использованием ПУТ

Показатели	ПАО «ММК им. Ильича»	ОАО «Запорожсталь»	ПАО «Алчевский МК»
Расход кокса, кг/т чугуна	368,1	383,0	406,0
Расход природного газа, м ³ /т чугуна	0,03	0	4,3
Расход ПУТ, кг/т чугуна	169,7	148,0	139,0
Содержание железа в шихте, %	54,13	56,33	56,45
Давление газа под колошником, кПа	101	124	126
Температура дутья, °С	1069	1124	1040
Содержание кислорода в дутье, %	23,09	23	25,1

Таблица 2

Показатели работы доменной печи № 3 ПАО «ММК им. Ильича»

Показатели	Базовый период	Опытный период
Удельная производительность, т/(м ³ ·сут)	1,674	1,719
Удельный расход кокса, кг/т чугуна	516,28	403,91
Содержание железа в шихте, %	53,94	54,24
Расход природного газа, м ³ /т чугуна	59,10	4,08
Температура дутья, °С	1048	1055
Содержание кислорода в дутье, %	21,88	22,26
Давление газа под колошником, кПа	126,1	124,7
Содержание Si в чугуне, %	0,76	0,75
Механическая прочность кокса M ₂₅ , %	88,02	89,37
Расход ПУТ, кг/т чугуна	0	131,8
Приведенные к равным условиям:		
- расход кокса, кг/т чугуна;	543,83	403,91
- производительность, т/(м ³ ·сут)	1,707	1,719

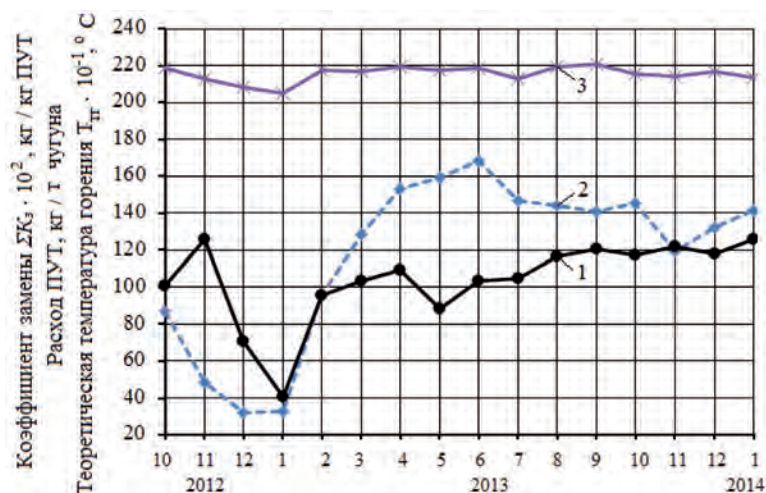


Рис. 1. Изменение суммарного коэффициента замены кокса ПУТ (1), удельного расхода ПУТ (2) и теоретической температуры горения (3) для печи № 3 ПАО «ММК им. Ильича»

Таблица 3

Изменение технологических параметров доменной плавки при вдувании ПУТ в печь № 3 ПАО «ММК им. Ильича»

Параметры	05.2011–06.2012	2012			2013		
		10	11	12	1	2	3
Температура дутья, °С	1048	1050	1036	1041	1036	1060	1074
Содержание кислорода в дутье, %	21,88	21,91	21,52	21,06	20,87	21,64	21,93
Расход природного газа, м ³ /т чугуна	59,1	2,3	21	32,5	44	2,1	1,3
Расход ПУТ, кг/т чугуна	0	87	48,7	32,5	32,6	95,5	128,7
Расход кокса, кг/т чугуна	516,3	462,6	475,4	507,7	510,9	450,3	405,9
Системы загрузки	КККК↓ АААА↓	КККА↓ АААК↓		ААКК↓ КААК↓		АКККК↓ ААА↓	

В ноябре 2012 г. были несколько снижены температура дутья до 1036 °С, содержание кислорода в дутье до 21,52 %, а расход природного газа увеличен до 21 м³/т чугуна с сокращением расхода ПУТ до 48,7 кг/т чугуна, что привело к снижению теоретической температуры горения до 2126 °С и росту ΣK_3 до 1,26 кг/кг.

В декабре 2012 г. практически вернулись к базовому уровню теоретической температуры горения 2081 °С при температуре дутья $T_d = 1041$ °С и снижении содержания кислорода в дутье до $O_{2d} = 21,06$ %, при этом был снижен расход ПУТ до 32,5 кг/т чугуна и повышен расход природного газа до 32,5 м³/т чугуна. Кроме того, был осуществлен переход на смешанную систему загрузки ААКК↓ КААК↓, что привело к сокращению высоты коксовых окон и ухудшению газопроницаемости столба шихтовых материалов в доменной печи. В результате данных изменений технологического режима работы печи эффективность использования ПУТ снизилась, а суммарный коэффициент замены кокса дополнительным топливом составил 0,71 кг/кг. В январе 2013 г. указанные технологические параметры снизили еще соответственно до $T_d = 1036$ °С, $O_{2d} = 20,87$ % при увеличении расхода природ-

ного газа до 44 м³/т чугуна, что привело к дальнейшему снижению теоретической температуры горения до 2047 °С, т. е. ниже базового уровня на 23 °С, и ΣK_3 до 0,40 кг/кг.

В феврале 2013 г. повышение температуры дутья до 1060 °С, содержания кислорода в дутье до 21,64 % при резком сокращении расхода природного газа до 2,1 м³/т чугуна и одновременном увеличении расхода ПУТ до 95,5 кг/т чугуна, обеспечило рост температуры горения до 2173 °С и ΣK_3 до 0,95 кг/кг.

В марте 2013 г. незначительная корректировка параметров дутья ($\Delta T_d = 14$ °С, $\Delta O_{2d} = 0,29$ %, $\Delta P_{из} = -0,8$ м³/т чугуна) и переход вновь на загрузку печи утяжеленными подачами АКККК↓ ААА↓ позволили увеличить массу вдуваемой в горн доменной печи угольной пыли до 128,7 кг/т чугуна. При этом суммарный коэффициент замены кокса ПУТ составил 1,04 кг/кг. Снижение ΣK_3 в опытный период в мае 2013 г. связано с нестабильной работой печи (суммарная длительность простоев и тихого хода превышала 17 %).

В результате проведенных промышленных исследований на доменной печи № 3 для компенсирующих корректировок дутьевых пара-

метров при вдувании ПУТ в количестве 120–140 кг/т чугуна установлены следующие средние значения: температура дутья на уровне 1060 °С, содержание кислорода в дутье – 22,3 % при практически полном прекращении подачи природного газа (до 1 м³/т чугуна), что обеспечило повышение теоретической температуры горения до 2170 °С с целью более полного сгорания угольной пыли в горне доменной печи.

Аналогичный суммарный коэффициент замены кокса ПУТ $\Sigma K_z = 1,04$ кг/кг получен при повышении расхода ПУТ до 171,3 кг/т чугуна в доменную печь № 5 ПАО «ММК им. Ильича» в июне 2013 г. при соответствующих компенсирующих мероприятиях: повышении содержания кислорода в дутье с 20,8 до 23,12 %, температуры дутья с 1056 до 1064 °С, расхода дутья с 3739 до 3854 м³/мин, снижении расхода природного газа с 37 до 0 м³/т чугуна [6].

Эффективное вдувание пылеугольного топлива в горн доменных печей ПАО «ММК им. Ильича» в количествах, превышающих расход ПУТ в печах ОАО «Запорожсталь» и ПАО «Алчевский МК» (табл. 1), стало возможным благодаря более высокой газопроницаемости столба шихтовых материалов с увеличенными прослойками кокса [7]. По мере повышения рудных нагрузок, особенно в условиях работы на шихте со значительным количеством мелких фракций, рациональным является некоторое снижение массы коксовой колоши [2]. Однако и в этих условиях высота коксовых окон для утяжеленных подач в 1,5–2,0 раза больше толщины коксовой прослойки, формируемой в столбе шихтовых материалов при загрузке печей смешанными подачами.

С ростом расхода ПУТ сокращение объема кокса в столбе шихтовых материалов достигает практически 32 % [1]. При этом изменяется распределение рудных нагрузок по радиусу печи, которое приводит к снижению газопроницаемости шихты в центре печи, в том числе и при загрузке материалов утяжеленными подачами, что уменьшает положительный эффект от увеличения высоты коксовых окон. На доменной печи № 5, работавшей в январе 2016 г. с рудной нагрузкой 4,5 кг/кг кокса при загрузке подачами КККК↓ АААА↓, повышение массы коксовой колоши с 6,9 до 7,2 т способствовало росту производительности печи на 2 %. Однако при данной системе загрузки наблюдалось повышение температуры периферии до 685 °С, что свидетельствовало о развитии периферийного газового потока. Переход на загрузку печи подачами АКККК↓ ААА↓ привел к снижению температуры периферии до 580 °С вследствие ее подгрузки железорудными материалами и экономии удельного расхода кокса на 0,7 %.

Выводы

1. Загрузка доменных печей увеличенными порциями железорудных материалов и кокса, обеспечивающая формирование высоких коксовых окон, является одним из компенсирующих мероприятий при вдувании в горн пылеугольного топлива, направленных на улучшение газопроницаемости столба шихтовых материалов при повышенном расходе ПУТ.

2. Переход на загрузку печи подачами АКККК↓ ААА↓ способствует снижению интенсивности газового потока на периферии и ее увеличению в осевой зоне, что повышает степень использования энергии печных газов.

3. Необходимо дальнейшее совершенствование систем загрузки печей, направленных на улучшение газодинамических условий доменной плавки с вдуванием ПУТ.

Библиографический список

1. О технологии доменной плавки при использовании пылеугольного топлива / В. Г. Аносов [и др.] // *Металургія: зб. наук. праць ЗДІА. – Запоріжжя*, 2009. – Вип. 20. – С. 37–43.
2. Ярошевский С. Л. Выплавка чугуна с применением пылеугольного топлива / С. Л. Ярошевский. – М.: *Металлургия*, 1988. – 176 с.
3. Томаш А. А. Исследование газопроницаемости зоны размягчения в доменной печи / А. А. Томаш, А. В. Кузин // *Наукові праці ДонНТУ*. – 2010. – № 12. – С. 89–100.
4. Значение распределения радиального потока газов для распределения расхода ПУТ (Тис-сен Шталь А.Г. Дуйсбург) / В. Ковальски [и др.] // *4-й Европейский конгресс коксохимиков и доменщиков*. – Париж, 2000. – С. 13–17.
5. Зинченко Ю. А. Освоение технологии вдувания пылеугольного топлива при производстве чугуна на ПАО «ММК им. Ильича» / Ю. А. Зинченко, В. А. Струтинский // *Металл и литье Украины*. – 2013. – № 10. – С. 11–14.
6. Технология и эффективность замены природного газа и части кокса пылеугольным топливом на ПАО «ММК им. Ильича» / В. В. Климанчук [и др.] // *Металл и литье Украины*. – № 10. – 2013. – С. 28–35.
7. Исследование газопроницаемости доменной шихты при различном расположении слоев компонентов / В. П. Русских [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2015. – № 1. – С. 13–16.
8. Long term operation with 200 kg / thm of pulverized coal injection rate at Kakogawa works / K. Kadoguchi, T. Goto, R. Ito, T. Yabata // *Proceedings 3rd European Ironmaking Congress*. (Gent. Belgium. 16–18.09.1996). – P. 72–81.

Поступила 18.02.2016