

В. Н. Захарченко, канд. техн. наук, гл. доменщик, e-mail: vnz1964@gmail.com

В. П. Русских*, канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой

Д. Е. Шапиро-Никитин*, зав. лабораторией

Объединение предприятий «Укрметаллургпром», Днепр

*ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», Мариуполь

Технология доменной плавки с совместным вдуванием в горн пылеугольного топлива и оксидов железа

Постоянное совершенствование технологии доменной плавки показывает, что возможности доменной печи как металлургического агрегата еще далеко не исчерпаны. Имеются возможности для диверсификации технологии доменной плавки, применяемого топлива, железосодержащих материалов и флюсов, а также техники их подачи в печь и распределения в ней. Одним из перспективных направлений совершенствования технологии является вдувание в горн первородных или техногенных железосодержащих материалов.

Ключевые слова: углерод, кокс, пылеугольное топливо, железорудный концентрат, вдувание в горн, восстановление.

В соответствии с современной технологией доменной плавки в печь загружаются только кусковые шихтовые материалы – агломерат, окатыши, кокс, флюсы, кусковая железная руда. Все эти материалы должны иметь лимитированный гранулометрический состав.

Постоянное совершенствование технологии доменной плавки показывает, что возможности доменной печи как металлургического агрегата еще далеко не исчерпаны. Имеются возможности для диверсификации технологии доменной плавки, применяемого топлива, железосодержащих материалов и флюсов, а также техники их подачи в печь и распределения в ней. Одним из перспективных направлений совершенствования технологии является вдувание в горн первородных или техногенных железосодержащих материалов.

Целесообразность и, тем более, технико-экономические преимущества вдувания в горн материалов, содержащих окисленное железо, далеко не очевидны и требуют технологического и экономического обоснования.

В результате процесса горения топлива, окисляемого высокотемпературным и обогащенным кислородом дутьем, горн является самой высокотемпературной зоной печи, где тепло- и массообмен между реагирующими фазами происходит с высокими скоростями. Это дает возможность подавать в горн через воздушные фурмы вместе со струей дутья, кроме топливных добавок, различные мелкодисперсные материалы, позволяющие диверсифицировать технологию доменной плавки, влияя на процессы восстановления, шлакообразования, газодинамику и теплообмен. Выделяются следующие направления рационализации технологии доменной плавки путем вдувания в воздушные фурмы материалов: флюсов и других добавок, улучшающих свойства шлаков; железосодержащих и гарнисажеобразующих материа-

лов; различных отходов, утилизация которых затруднена или невозможна другими способами.

Целесообразность и технико-экономические преимущества вдувания в горн материалов, содержащих окисленное железо, стимулируют разработку этой технологии, они достаточно понятны, к ним относятся:

- возможность регулирования содержания кремния в чугуне;

- возможность использования в доменной печи части неокускованного железорудного сырья с соответствующей экономией финансовых, экономических и экологических ресурсов на его окускование;

- возможность создавать в горне печи окисленные шлаки для промывки горна от коксовой мелочи и негоревших частиц вдуваемого топлива при его высоком расходе;

- возможность повышения газопроницаемости столба шихты в доменной печи путем уменьшения содержания в нем агломерата или окатышей, слои которых имеют меньшую газопроницаемость по сравнению со слоями кокса;

- возможность использовать в доменной плавке трудно утилизируемых мелкодисперсных металлургических отходов без их предварительного окускования.

Ожидаемые трудности реализации и неизученность предлагаемой технологии заставляют проводить предварительные исследования, используя методы физического и математического моделирования, как отдельных элементов технологии, так и процесса в целом. Наибольший интерес вызывает изучение условий максимального восстановления вдуваемых частиц, содержащих оксиды железа, во время их витания в струе горячего дутья и в потоках фурменного газа в зоне циркуляции. Степень восстановления железорудных частиц определяет расход тепла на прямое восстановление оставшегося

невосстановленным железа и, следовательно, определяет расход кокса при такой технологии доменной плавки.

Фундаментальные исследования в этом направлении проведены в Японии, Франции и Германии [1, 2]. Первые предложения о вдувании мелких железосодержащих материалов в доменную печь были высказаны Кустодисом в 1906 году. Рядом металлургических фирм Японии, научно-исследовательскими институтами Франции и Германии проводятся исследования в этой области на пилотных установках и доменных печах. Разработанная схема процессов, протекающих в фурменной зоне при совместном вдувании в горн угольной пыли и оксидов железа, приведена на рисунке [1].

В соответствии с приведенной схемой, железо в фурменной зоне восстанавливается до закиси, которая плавится, часть ее может восстанавливаться углеродом угольной пыли, другая часть переходит в шлак и восстанавливается углеродом коксовой мелочи, что способствует промывке горна. Присутствие оксидов железа повышает полноту сгорания вдуваемого угля и температуру газа в фурменной зоне, а углерод, вдуваемый совместно с оксидами железа, способствует ускорению восстановления железа в фурменной зоне. Совместное вдувание концентрата и пылеугольного топлива (ПУТ) ускоряет горение вдуваемого угля благодаря участию кислорода вдуваемых оксидов железа в процессе окисления углерода ПУТ. Кроме того, при использовании такой технологии снижается степень прямого восстановления железа. Объяснение этому заключается в уменьшении рудной нагрузки в шахте и увеличении удельного расхода восстановительных газов на единицу рудных материалов, что при постоянной степени использования восстановительной способности газов приводит к уменьшению прихода в горн невосстановленного железа.

Для оценки целесообразности технологии вдувания в фурмы железорудных материалов с целью частичной замены окускованного железорудного сырья, загружаемого через колошник, японские специалисты [3] выполнили математическое моделирование доменной плавки с использованием математической модели, основанной на уравнениях теплового и материального балансов доменной плавки. Результаты моделирования представлены в табл. 1 [4].

В первом варианте по сравнению с базовым расход кокса снизился, вероятней всего, за счет умень-

шения влажности дутья. Из табл. 1 очевидна целесообразность совместного вдувания пылеугольного топлива и железорудного концентрата, как с точки зрения удельного расхода кокса на выплавку чугуна, так и степени прямого восстановления железа. Уменьшение степени прямого восстановления при вдувании концентрата в фурмы объясняется уменьшением количества невосстановленного железа, приходящего в горн из шахты.

По расчетно-экспериментальным данным, совместное вдувание оксидов железа и ПУТ в соотношении 1:1 не требует какой-либо температурно-тепловой компенсации для сохранения теплового баланса фурменной зоны и не снижает температуры в ней. Максимальное количество вдуваемого в воздушные фурмы доменной печи невосстановленного концентрата, которое не приведет к нарушению теплового баланса фурменной зоны и дренажной способности коксового тотермана, составляет по различным оценкам от 100 до 200 кг/т чугуна.

Возможность снижения содержания кремния в чугуне путем вдувания оксидов железа в фурмы доменной печи исследовали сотрудники научно-исследовательского института черной металлургии Франции на доменных печах в Дюнкерке и в Солмере [5]. В табл. 2 приведены основные показатели работы доменной печи при вдувании железной руды в воздушные фурмы в базовом и опытном периодах.

Эксперименты подтвердили возможность снижения содержания кремния в чугуне путем вдувания руды в фурмы без ухудшения технико-экономических показателей работы печи, за исключением коэффициента распределения серы между чугуном и шлаком, который уменьшился в связи с повышением окисленности шлака.

Выполненные для доменной печи полезным объемом 2000 м³ расчеты при массе вдуваемого в воздушные фурмы концентрата 150 кг/т чугуна показывают, что при этом расход агломерата уменьшается на 186 кг/т чугуна – больше, чем на 10 %. При равенстве объемов агломерата и кокса в доменной печи объем кокса в столбе шихтовых материалов увеличится на такую же (более 10 %) величину, что значительно улучшит газопроницаемость столба шихты.

При содержании кислорода в концентрате 26–28 % в 150 кг концентрата масса кислорода составит 39–44 кг, что позволит газифицировать до CO₂ 14,6–16,5 кг углерода или 29,2–33 кг углерода при его газификации до CO.

Годовой расход агломерата при суточном производстве чугуна в доменном цехе 10 тыс. т снизится на 271,56 млн т.

При разнице в цене агломерата (1720 грн, по данным одной из аглофабрик Украины) и концентрата СевГОК (1454 грн) 266 грн, годовой экономический эффект составит 7,33 млрд грн.

Здесь не учтены расходы на

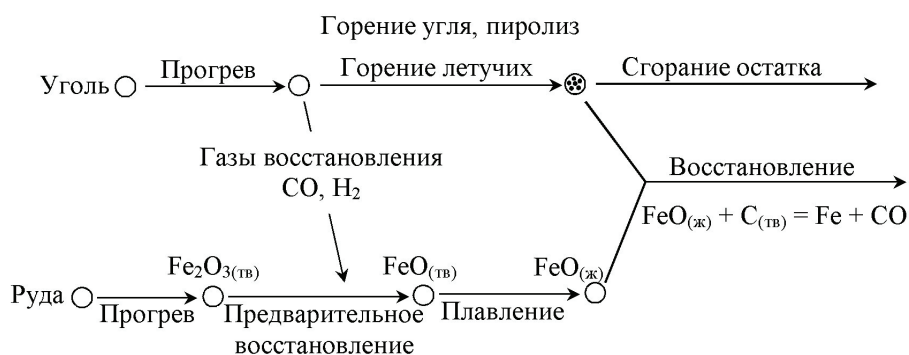


Схема протекания реакций при вдувании ПУТ и оксидов железа в фурменную зону

Результаты работы доменной печи при дувании железорудного концентрата

Показатели работы печи	Базовый вариант	Варианты с дуванием концентрата						
		1	2	3	4	5	6	7
Температура дутья, °С	1100	1100	1100	1100	1350	1350	1350	1350
Влажность дутья, г/м ³	36	15	15	15	15	15	15	15
Расход дуваемого концентрата, кг/т	0	60	202	122	144	268	184	100
Расход ПУТ, кг/т	0	0	0	100	0	0	100	200
Расход кокса, кг/т	500	491	526	425	476	515	412	310
Суммарный расход топлива, кг/т	500	491	526	525	476	515	512	510
Расход кислорода, кг/т	0	0	100	100	0	100	100	100
Расход дутья, м ³ /т	1172	1173	843	807	1079	771	727	688
Расход газа в заплечиках, м ³ /т	1569	1519	1365	1354	1434	1302	1279	1263
Выход колошникового газа, м ³ /т:								
влажного	1746	1693	1485	1487	1592	1409	1400	1397
сухого	1708	1670	1465	1443	1570	1390	1358	1331
Использование СО, %	47,5	47,6	44,0	44,9	47,0	43,4	44,5	45,5
CaO/SiO ₂ агломерата	1,62	1,66	1,88	1,71	1,74	1,97	1,77	1,61
Рудная нагрузка, т/т	3,168	3,09	2,58	3,4	2,98	2,49	3,33	4,73
Степень прямого восстановления, %	33,3	33,8	26,1	28,2	32,7	24,5	27,2	29,5

Примечание: Эффективность восстановления оксидов железа в шахте принимали во всех вариантах равной 96 %

Таблица 2

Показатели работы доменной печи при дувании железной руды

Показатели	Опытный период	Базовый период
Производительность, т/сут	3630	3561
Расход, кг/т чугуна		
дуваемой руды	22,6	0
ПУТ	94,6	106,7
кокса	380,4	366,3
кокса + ПУТ	475,0	473,0
Состав чугуна:		
Si, %	0,300	0,475
S, %	0,046	0,036
(S)/[S]	28,3	36,8
Температура чугуна °С	1408	1479

оборудование и обслуживание комплекса по дуванию железорудного концентрата в воздушные фурмы доменных печей.

Доменщики Украины долго шли к внедрению технологии доменной плавки с дуванием пылеугольного топлива в фурменную зону. Накопленный при этом опыт облегчит внедрение технологии с подачей в горн железорудного концентрата, с учетом того, что при этом исключается такая энергоемкая и оборудаемая операция как помол.

Выводы

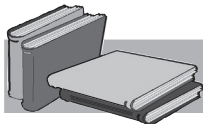
Совместное дувание пылеугольного топлива и оксидов железа сопровождается взаимным ускорением горения угольных частиц и восстановления железа. Присутствие углерода ускоряет восстановление частиц руды в фурменной зоне, а присутствие руды – процесс горения частиц угля и повышает полноту сгорания.

Дувание мелкодисперсных материалов, содержащих железо в окисленном виде в смеси с пылеугольным топливом, позволяет снизить содержание кремния в чугуне, упрощает управление доменным процессом при выплавке низкокремнистых чугунов.

Дувание железорудных материалов в значительных количествах изменяет характер массообмена в шахте вследствие увеличения удельного расхода восстановительных газов на единицу рудных материалов и повышает газопроницаемость столба шихты в результате снижения рудной нагрузки на кокс.

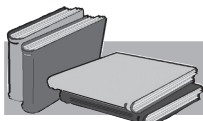
Недовосстановившееся железо в виде FeO переходит в шлак и способствует газификации углерода коксовой мелочи, тем самым улучшая дренаж чугуна и шлака в горне доменной печи.

Технология доменной плавки с дуванием в фурмы железорудных материалов расширяет функциональные возможности доменной печи, позволяет повышать ее производительность и является перспективной технологией доменной плавки в XXI веке.



ЛИТЕРАТУРА

1. Гуденау Г. В., Випперман Ш., Московчук В. П. Исследование по вдуванию железорудной мелочи в доменную печь // Сталь. – 1996. – № 2. – С. 9–11.
2. Курунов И. Ф., Тихонов Д. Н., Савчук А. Н. Вдувание железосодержащего рудного сырья в фурмы доменных печей расширяет возможности доменного процесса // ОАО «Черметинформация». Бюллетень «Черная металлургия». – 2003. – № 3. – С. 23–35.
3. Yumaguchi Kazuyoshi, Ueno Hiromitsu, Naito Masaaki, Tanura Kenji. Maximum Injection Rate of Fine Ore into Blast Furnace Through Tuyeres // ISIJ International. – 1991. – vol. 31. – № 7. – P. 677–684.
4. Kushima K., Naito M., Tanura R. Iron ore injection into blast furnace raceway // 47th Ironmaking Conference Proceedings. Toronto. Canada, 1988. – P. 457–466.
5. Brun G., Nicolle R., Steiler J. M. et al. Iron ore injection into the blast furnace and the control of the hot metal silicon // La revue de metallurgie – CIT. Janvier, 1988. – P. 21–32.



REFERENCES

1. Gudenau G. V., Viperman Sh., Moskovchuk V. P. (1996). Issledovanie po vduvaniu zhelezorudnoi melochi v domennuiu pech' [Investigation of injection of iron ore fines into blast furnace]. Stal', no. 2, pp. 9–11 [in Russian].
2. Kurunov I. F., Tikhonov D. N., Savchuk A. N. (2003). Vduvanie zhelezosoderzhashchego rudnogo syr'ia v furmy domennykh pechei rasshiriaet vozmozhnosti domennogo protsessa [Injection of iron containing raw materials into the blast furnace lances increases the capabilities of the blast furnace process]. ОАО "Chermetinformatsiia". Biulleten' "Chernaia metallurgii", no. 3, pp. 23–35 [in Russian].
3. Yumaguchi Kazuyoshi, Ueno Hiromitsu, Naito Masaaki, Tanura Kenji (1991). [Maximum Injection Rate of Fine Ore into Blast Furnace Through Tuyeres]. ISIJ International, Vol. 31, no. 7, pp. 677–684 [in English].
4. Kushima K., Naito M., Tanura R. (1988). [Iron ore injection into blast furnace raceway]. 47th Ironmaking Conference Proceedings. Toronto. Canada, pp. 457–466 [in English].
5. Brun G., Nicolle R., Steiler J. M. et al. (1988). [Iron ore injection into the blast furnace and the control of the hot metal silicon]. La revue de metallurgie – CIT. Janvier, pp. 21–32 [in English].

Анотація

Захарченко В. М., Руських В. П., Шапіро-Нікітін Д. Є.

Технологія доменної плавки зі спільним вдуванням у горн пиловугільного палива та оксидів заліза

Постійне вдосконалення технології доменної плавки показує, що можливості доменної печі як металургійного агрегату ще далеко не вичерпані. Існують можливості для диверсифікації технології доменної плавки, використовуюваного палива, залізовмісних матеріалів і флюсів, а також техніки їхньої подачі в піч і розподілу в ній. Одним з перспективних напрямків вдосконалення технології є вдування у горн первородних або техногенних залізовмісних матеріалів.

Ключові слова

Вуглець, кокс, пиловугільне паливо, залізорудний концентрат, вдування у горн, відновлення.

Summary

Zakharchenko V., Russkikh V., Shapiro-Nikitin D.

Technology of blast furnace melting with simultaneous injection of powder coal and iron oxides into the furnace hearth

Continuous development of the process of blast furnace melting testifies that capabilities of blast furnace as a metallurgical unit are far from being exhausted. Still there exist opportunities for diversification of the process of blast furnace melting, applied fuels, iron containing materials and fluxes, as well as, for methods of their delivery into the furnace and their distribution inside it. Injection into the hearth original or technical iron containing materials seems to be one of the most promising ways of the process upgrading.

Keywords

Carbon, coke, powder coal fuel, iron ore concentrate, injection into hearth, reduction.

Поступила 28.12.17