

В. Н. Захарченко, Ю. Р. Руденко*, Ю. К. Лебедь*, В. А. Бозылев*

Объединение предприятий «Металлургпром», Днепропетровск

* ПАО «Днепропетровский металлургический комбинат им. Ф. Э. Дзержинского», Днепропетровск

Достижение заданной температуры чугуна за счет улучшения дренажной способности горна

Представлен новый способ выплавки чугуна в доменной печи, включающий загрузку в печь шихтовых материалов, кокса, подачу в горн горячего дутья и добавок, в том числе пылеугольного топлива; при осуществлении контроля и регулирования температуры чугуна изменением содержания кремния, фосфора, серы, марганца, углерода в чугуне и расхода конвертерного шлака в агломерационной шихте.

Ключевые слова: температура чугуна, конвертерный шлак, «индекс тотермана», продукты плавки

Известен способ выплавки чугуна в доменной печи путем увлажнения дутья. При этом достигается увеличение производительности печи в результате более ровного хода печи и обогащения дутья кислородом [1]. При высоких температурах в горне печи влага разлагается на водород и кислород, а в условиях избытка углерода кокса разложение осуществляется на водород и оксид водорода, которые используются для непрямого восстановления.

К недостаткам способа относится – влажность дутья изменяется в течение суток и в зависимости от времени года, что способствует изменению температуры чугуна на выпуске за счет протекания эндотермических реакций, а для удержания заданной температуры дутья обогащают природным газом, кислородом и увеличивают его температуру.

Цель работы – достижение заданной температуры чугуна на выпуске оптимизацией химического состава продуктов плавки.

Наиболее близким по технической сути и результату, что достигается в данном способе, является способ выплавки чугуна в доменной печи [2], который включает подачу в печь шихтовых материалов, вдувание в печь обогащенного кислородом горячего дутья, подачу в печь кокса; дополнительно осуществляют контроль и регулирование температуры чугуна путем изменения давления горячего дутья, наличия кислорода в дутье и кремния в чугуне, основности шлака, исходя из условий уравнения:

$$T_{\text{ч}} = 1210,531 \cdot 1,014338^P \cdot 1,001397^{O_2} \times 1,027910^{\text{Si}} \cdot 1,099379^{\text{Осн.}} \quad (1)$$

где $T_{\text{ч}}$ – температура чугуна, °С; P – давление горячего дутья, кг/см²; O_2 – содержание кислорода в горячем дутье, %; Si – содержание кремния в чугуне, %; $Осн.$ – основность шлака, доли единиц.

Недостатки этого способа состоят в том, что данное соотношение устанавливает взаимосвязь между температурой чугуна, параметрами дутья и химического состава продуктов плавки, не учитывая дренажную способность горна.

Для оценки работы доменной печи в качестве критерия, что характеризует дренажную способ-

ность горна, используется показатель «индекс тотермана» [3].

Современная доменная печь характеризуется большим диаметром горна и интенсивным потоком расплавленных масс, что затрудняет движение потока газа и жидких продуктов плавки через «тотерман» и объем горна, а также поддержание достаточного уровня температур в осевой зоне [4].

«Тотерман» [deadman] — неподвижная спекшаяся масса в центре нижней части доменной печи при неправильном распределении шихтовых материалов и газов по сечению печи [5].

Для нормальной отработки продуктов плавки температура в «коксовом тотермане» в центре горна не должна быть ниже 1390 °С.

В противном случае в центральной части «коксового тотермана» возможно образование вязких и полужидких масс из продуктов плавки.

Это замедляет восстановительные процессы в застывшей массе, создает условия для похолодания горна, ограничивает объем пространств, вмещающих

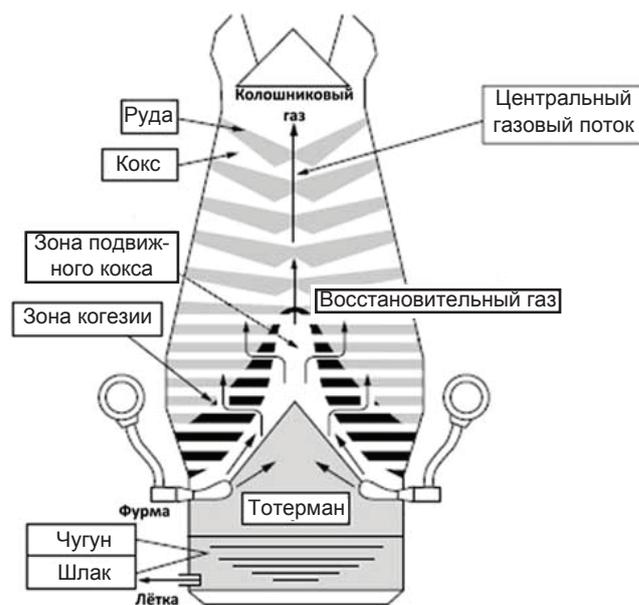


Рис. 1. Схема современной доменной печи

продукты плавки, приводит к неровному движению материалов [6].

«Индекс тотермана» рассчитывается по следующей формуле:

$$DMI = 2 \cdot T_{\text{ч}} - 121 \cdot \text{Si} - 128 \cdot \text{P} - 126 \cdot \text{S} + 11 \cdot \text{Mn} - 389 \cdot \text{C} - 190 \cdot \text{B} - 690 \quad (2)$$

где DMI – «индекс тотермана», доли единиц; $T_{\text{ч}}$ – температура чугуна, °C; Si, P, S, Mn и C – содержание кремния, фосфора, серы, марганца и углерода в чугуне, %мас.; B – основность шлака (CaO/SiO_2), доли единиц.

Высокие значения DMI характеризуют коксовую насадку с высокой проницаемостью. Работе доменной печи с высокой производительностью и низким расходом кокса соответствует показатель DMI – более 200.

В основе способа выплавки чугуна поставлена задача достижения заданной температуры чугуна улучшением дренажной способности горна.

Поставленная задача решается тем, что в способе выплавки чугуна в доменной печи, который включает подачу в доменную печь шихтовых материалов, кокса, вдувание горячего дутья и добавок, в том числе и пылеугольного топлива, дополнительно контролируется температура чугуна и расход конвертерного шлака в агломерационной шихте.

За период с 2006 по 2013 гг., при статистическом анализе производственных данных работы доменного цеха ПАО «Днепропетровский металлургический комбинат им. Ф. Э. Дзержинского» установлена «тесная» взаимосвязь между расходом конвертерного шлака в агломерационной шихте и расчетным значением «индекса тотермана» (коэффициент парной корреляции – 0,8307; коэффициент аппроксимации – 0,6901).

В ходе отработки технологии применения конвертерного шлака в агломерационной шихте выявлена эмпирическая зависимость «индекса тотермана» от расхода конвертерного шлака в агломерационной шихте (рис. 2):

$$DMI = 2,284 \cdot K_{\text{ш}} + 110,32. \quad (3)$$

где DMI – «индекс тотермана», ед.; $K_{\text{ш}}$ – расход конвертерного шлака в агломерационной шихте, кг/т.

Из полученной зависимости определено, что при увеличении расхода конвертерного шлака в агломерационной шихте на каждые 10 кг/т происходит увеличение «индекса тотермана» на 23 ед.

После обобщения уравнений (2) и (3) температура чугуна рассчитывается по следующему уравнению:

$$T_{\text{ч}} = 1,14 \cdot K_{\text{ш}} + 61 \cdot \text{Si} + 64 \cdot \text{P} + 63 \cdot \text{S} - 5,5 \cdot \text{Mn} + 195 \cdot \text{C} + 95 \cdot \text{B} + 400. \quad (4)$$

Смысл предлагаемого способа заключается в следующем. В постоянных технологических условиях, касательно каждой конкретной доменной печи, обобщается информация по расходу конвертерного шлака в агломерационной шихте и химическому составу продуктов плавки. Для изменения температуры чугуна по уравнению (3) сначала определяется расчетная температура чугуна в комбинации с расходом конвертерного шлака в агломерационной шихте и химическим составом продуктов плавки. При необходимости получения заданной температуры чугуна производится корректировка изменяющихся показателей уравнения.

В табл. 1 указан химический состав чугуна и основность шлака, в табл. 2 – расход конвертерного шлака при производстве агломерата и «индекс тотермана»; фактическая, расчетная температура чугуна и их отклонения.

Зависимость фактической и расчетной температуры чугуна от расхода конвертерного шлака в агломерационной шихте указана на рис. 3.

С увеличением расхода конвертерного шлака увеличивается температура чугуна и снижается интервал между значениями фактической и расчетной температуры чугуна.

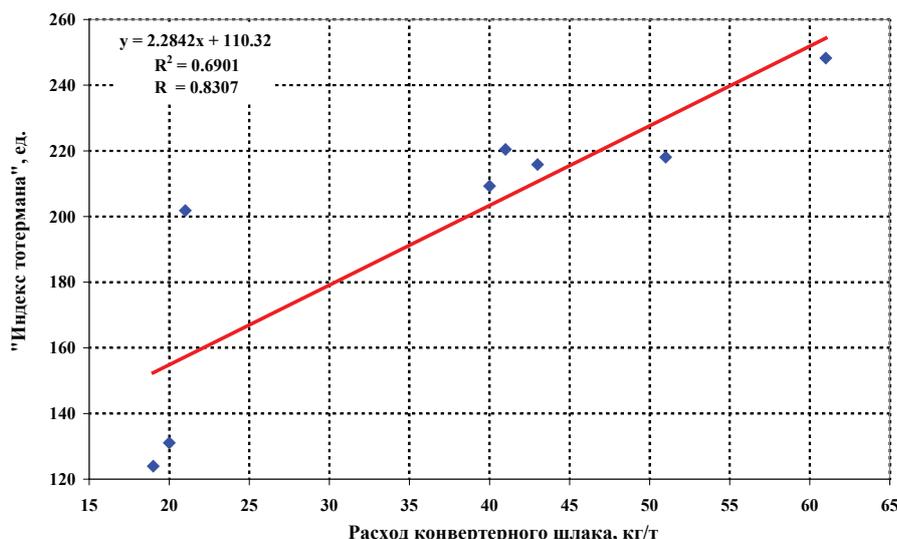


Рис. 2. Зависимость «индекса тотермана» от расхода конвертерного шлака в агломерационной шихте

Таблица 1

Характеристика продуктов плавки

Дата	Химический состав чугуна, %					Основность шлака CaO/SiO_2 , д.ед.
	Si	Mn	S	P	C	
2006	0,75	0,11	0,020	0,045	4,57	1,21
2007	0,76	0,13	0,021	0,042	4,54	1,23
2008	0,79	0,32	0,022	0,042	4,40	1,23
2009	0,77	0,43	0,022	0,060	4,42	1,22
2010	0,81	0,41	0,021	0,070	4,35	1,23
2011	0,71	0,28	0,020	0,055	4,41	1,23
2012	0,66	0,23	0,023	0,072	4,40	1,18
2013	0,63	0,31	0,025	0,098	4,34	1,18

Таблица 2

Сравнение расчетной и фактической температуры чугуна

Дата	Расход конвертерного шлака, кг/т	«Индекс тотермана» DMI, ед.	Температура чугуна, °С		Отклонение, +/-	
			фактическая	расчетная	°С	%
2006	19	124	1460	1477	+17	+1,2
2007	20	131	1460	1475	+15	+1,0
2008	21	202	1469	1449	-20	-1,3
2009	40	209	1475	1473	-2	-0,1
2010	41	220	1471	1465	-6	-0,4
2011	43	216	1474	1472	-2	-0,1
2012	51	218	1467	1473	+6	+0,4
2013	61	248	1470	1473	+3	+0,2

Значительный интервал температур чугуна в 2006-2008 гг. вызван низким расходом конвертерного шлака 19-21 кг/т агломерата.

Эффективность указанного способа выплавки чугуна иллюстрируется следующими примерами:

– № 1 – 2009 г., расход конвертерного шлака 40 кг/т агломерата;
– № 2 – 2013 г., расход конвертерного шлака 61 кг/т агломерата.

Основные показатели работы доменного цеха приведены в табл. 3.

Пример расчета.

Расчетная температура чугуна (Период № 1) составила:

$$1,14 \cdot 40 + 61 \cdot 0,77 + 64 \times \\ \times 0,060 + 63 \cdot 0,022 - 5,5 \times \\ \times 0,43 + 195 \cdot 4,42 + 95 \times \\ \times 1,22 + 400 = 1473 \text{ °С}$$

Фактическая температура чугуна (Период №1) – 1475 °С.

Расчетная температура чугуна (Период № 2) составила:

$$1,14 \cdot 61 + 61 \cdot 0,63 + 64 \times \\ \times 0,098 + 63 \cdot 0,025 - 5,5 \times \\ \times 0,31 + 195 \cdot 4,34 + 95 \times \\ \times 1,18 + 400 = 1473 \text{ °С}$$

Фактическая температура чугуна (Период № 2) – 1470 °С.

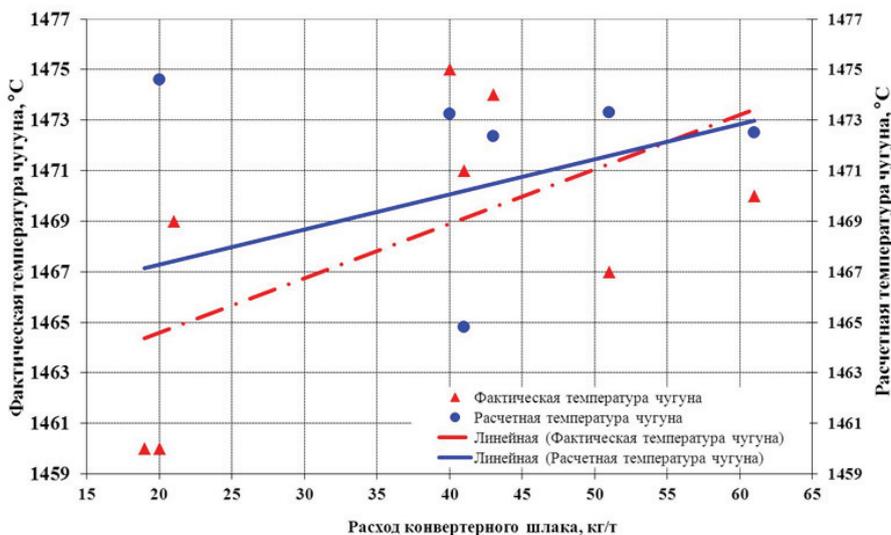


Рис. 3. Зависимость фактической и расчетной температуры чугуна от расхода конвертерного шлака в агломерационной шихте

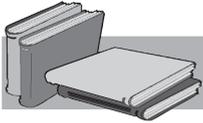
Таблица 3

Технико-экономические показатели доменного цеха

Показатели	Период № 1	Период № 2
Расход конвертерного шлака в агломерационной шихте, кг/т	40	61
Расход агломерата, кг/т чугуна	1493,5	1759,1
Расход окатышей, кг/т чугуна	257,3	40,9
Расход руды железной, кг/т чугуна	31,0	0
Содержание Fe в ЖРЧ шихты, %	54,62	54,52
Содержание в чугуне, %:		
Si	0,77	0,63
Mn	0,43	0,31
S	0,022	0,025
P	0,060	0,098
C	4,42	4,34
Основность шлака	1,22	1,18
«Индекс тотермана», ед.	209	248
Расчетная температура чугуна, °С	1474	1473
Фактическая температура чугуна, °С	1475	1470

Вывод

Улучшение дренажной способности горна (повышение «индекса тотермана») позволяет поддерживать на максимально высоком уровне температуру чугуна, что является важным условием стабильности доменного процесса и способствует поддержанию теплового состояния горна и повышению качества чугуна.



ЛИТЕРАТУРА

1. Ефименко Г. Г., Гиммельфарб А. А., Левченко В. Е. *Металлургия чугуна*. – Киев: «Высшая школа». – 1988. – 351 с.
2. Патент України 105330, МПК С21 В 5/00. Спосіб виплавки чавуну в доменній печі / Ю. Р. Руденко, В. А. Бозильов, Ю. Г. Антонов, В. В. Моцний. – Опубл. 25.04.14, Бюл. № 8.
3. Влияние качества кокса на показатели работы доменной печи / И. Ф. Курунов, В. Л. Емельянов, В. Н. Титов // *Металлург*. – 2007. – № 12. – С. 37-40.
4. Структура нижней части столба шихты и роль ее элементов в организации процессов плавки / В. И. Большаков, Н. А. Гладков, И. Г. Муравьева, С. Т. Шулико, В. В. Лебедь // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. научн. тр.* – Дніпропетровськ.: ІЧМ НАН України, 2004. – Вип. 8. – С. 112-119.
5. Лякишев Н. П. *Энциклопедический словарь по металлургии*. – М. –: Интермет Инжиниринг. – 2000. – 821 с.
6. Готлиб А. Д. *Доменный процесс*. М.: «Металлургия». – 1966. – 503 с.

Анотація

Захарченко В. М., Руденко Ю. Р., Лебідь Ю. К., Бозильов В. А.
Досягнення заданої температури чавуну за рахунок покращення дренажної здатності горну

Представлено новий спосіб виплавки чавуну в доменній печі, що включає завантаження в піч шихтових матеріалів, коксу, подачу до горну гарячого дуття та додатків, в тому числі пиловугільного палива; зі здійсненням контролю та регулювання температури чавуну за рахунок зміння вмісту кремнію, фосфору, сірки, марганцю, вуглецю в чавуні та витрати конвертерного шлаку в агломераційній шихті.

Ключові слова

температура чавуну, конвертерний шлак, «індекс тотермана», продукти плавки

Summary

Zakharchenko V., Rudenko Yu., Lebed' Yu., Bozylev V.
Achievement the preset temperature of cast-iron due to the improvement drainage ability of furnace

The new method of smelting of cast-iron is presented in a blast furnace, including a load in the stove of charge materials, coke, serve in the furnace of hot-air and additions, including ardor-coal fuel; during realization of control and adjusting of temperature of cast-iron of change maintenance of silicon, phosphorus, sulphur, manganese, carbon in cast-iron and expense of converter slag in sintering mixture.

Keywords

temperature of cast-iron, converter slag, «index of deadman», products of melting

Поступила 27.11.2014