

А. А. Ткач, А. Я. Ткач*, В. А. Петренко**, В. Н. Ковшов**

ПАО «ЕВРАЗ – ДМЗ им. Петровского», Днепропетровск

*Украинская ассоциация производителей чугуна, Днепропетровск

**Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

Разработка рационального режима накопления и выпуска жидких продуктов плавки из доменной печи

Выполнены технологические расчеты процесса накопления жидких продуктов плавки в горне, исходя из условий работы доменных печей в Украине. Показана возможность определения оптимального количества выпусков для конкретной доменной печи и использование полученных результатов при составлении графиков выпусков. Показано, что процессы накопления тесно связаны с качеством железорудных материалов и кокса, что в свою очередь оказывает влияние на удельный выход шлака и объемную интенсивность заполнения металлоприемника. Расчитано, что при объемной интенсивности заполнения горна более 2,2 м³/мин выпуск продуктов плавки должен быть непрерывным.

Ключевые слова: накопление, выпуск, продукты плавки, доменная печь, заполнение горна, график выпусков, интенсивность заполнения

Постановка проблемы. Как известно, режим накопления и выпуска продуктов плавки из доменной печи играет немаловажную роль в технологии процесса и успешной работе агрегата. В этой связи многие исследователи [1, 2, 3, 4, 6, 7] считали, что масса выпусков и их количество должно быть оптимальным и связывали это как с объемом печи, так и ее производительностью. При правильном подборе режима выпуска продуктов плавки повышается стабильность работы печи, снижается вероятность загромождения горна, интенсивно работает зона фурменных очагов, уменьшается горение фурм, в результате возникает возможность форсировки процесса.

Анализ последних исследований и публикаций. Анализ работы доменных печей показывает, что существует экстремальная зависимость массы выпуска. При накоплении чугуна и шлака в горне за счет выталкивающих сил происходит движение кокса из центральной зоны в очаги горения, увеличивая таким образом скорость схода шихты в центральной части печи [3, 5, 6, 7]. Практика показывает, что печь начинает работать более интенсивно уже через 20-30 минут после закрытия выпуска. Связывают это, как правило, с количеством жидких продуктов плавки в горне. Обычно степень заполнения горна, в зависимости от качества кокса и железорудного сырья, изменяется в пределах от 35 до 65 %. Меньшее значение соответствует низкому качеству кокса и бедному железорудному сырью, а большие – высокому качеству кокса и богатому сырью.

В конце выпуска столб шихты садится на лещадь, замедляя скорость ее схода. Замедление схода шихты происходит и при чрезмерном накоплении продуктов плавки в горне, что объясняется уменьшением зоны горения кокса в нижней части фурменного очага. Все это повторяется с определенной периодичностью, устанавливаемой графиком выпусков. Другими словами, изменение уровня продуктов плавки в горне сказывается на движении шихтовых материалов и газодинамике процесса. Отсюда следует, что количе-

ство жидкости в горне должно быть на оптимальном и постоянном уровне.

Поддержание уровня жидкости в металлоприемнике можно достичь за счет подбора рационального графика выпусков и регулирования скорости выпуска продуктов плавки. График выпусков, в цехах с несколькими доменными печами и с учетом работы сталеплавильных цехов, требует тщательного расчета и обоснования. Регулирование скорости можно осуществить за счет изменения диаметра выпускного канала чугунной летки.

Практика эксплуатации оборудования литейных дворов (машин вскрытия чугунной летки) и применяемых леточных огнеупорных материалов показывает, что минимальный диаметр канала летки может составлять 35-38 мм. В противном случае происходит скручивание или изгиб бура (штанги). Кроме того, малый диаметр канала летки может привести к затруднению выхода жидких продуктов плавки из-за «намораживания» на выходе отверстия, где температура стенок летки, за счет охлаждения и контакта с окружающей средой, значительно ниже (500-800°С) температуры жидких продуктов плавки (1450-1600°С) и температуры кристаллизации чугуна (1150-1250°С). Применение материалов низкого качества для закрытия летки (отечественного производства, как на водной основе, так и безводных масс) приводят к разгару канала в процессе выпуска в 1,5-2,0 раза, в сравнении с первоначальным, что также затрудняет регулирование скорости выпуска чугуна и шлака.

Анализ работы новых или реконструируемых доменных печей, на которых не производят изменение конструкции металлоприемника, показывает, что максимальная производительность достигается после 6-12 месяцев эксплуатации. Изучение изменений физического состояния и геометрии профиля печи в процессе эксплуатации ранее на КМК «Криворожсталь» показали, что в указанные сроки происходит интенсивный разгар огнеупорной футеровки низа печи, особенно заплечиков и металлоприемника.

Закладываемые изотопы в лещады на уровне первых трех рядов огнеупоров (1500 мм) выходили из строя после эксплуатации печи до одного года, что свидетельствует об интенсивном ее разгаре, и в связи с этим достаточном накоплении нижелеточного чугуна. Происходила интенсификация движения кокса за счет выталкивающих сил в нижней и центральной зонах печи [4].

Целью работы является технологическое обоснование и разработка рациональных режимов накопления и выпуска продуктов плавки, обеспечивающих стабильность и форсировку хода доменной плавки.

Изложение основного материала. Поиск путей увеличения стойкости футеровки металлоприемника наряду с применением новых огнеупоров (керамика, модифицированные углеродистые блоки) и систем охлаждения (водяное охлаждение донышка, применение медных холодильников) привели к увеличению объема нижелеточного пространства печи за счет изменения конструкции и за счет этого – интенсификации процесса плавки. Традиционно на отечественных печах глубина «мертвого слоя», или пространства печи ниже оси чугунной летки, составляла 0,8-1,2 метра независимо от объема печи. В настоящее время, на вновь строящихся и реконструируемых доменных печах эта глубина составляет 0,18-0,20 диаметра горна. Это позволило увеличить количество нижелеточного чугуна и достигать максимальных показателей плавки уже в первые месяцы эксплуатации агрегатов. Несмотря на конструктивные изменения в конфигурации металлоприемника режим выпуска продуктов плавки не потерял своей актуальности, особенно при высоком удельном выходе шлака.

Анализ выполненных технологических расчетов показывает, что при прочих равных условиях, время заполнения горна для печей разного объема примерно одинаково или изменяется незначительно (таблица 1). Приняв одинаковые условия для наполнения горна (коэффициент заполнения жидкими продуктами плавки, удельный выход шлака, качество кокса и

др.) можно определить количество жидкости в нем в зависимости от производительности в любой промежуток времени. Обращает на себя внимание то, что объемная скорость наполнения горна тесно связана с удельным выходом шлака из-за большого различия в удельных весах с металлом. Объем чугуна и шлака, при стекании в горн, одинаков только при удельном выходе шлака 300-310 кг/т чугуна. При высоком выходе шлака объемная скорость заполнения металлоприемника выше по отношению к чугуну.

Для сырьевых условий Украины расход материалов на производство 1 тонны чугуна находится в пределах 2200-2400 кг (железорудная часть + кокс) при выходе шлака 450-500 кг/т. В этой связи при оценке режима выпусков необходимо учитывать не только накопление в гоне металла, но и шлака. Расчет и данные таблицы 1 позволяют для заданной интенсивности плавки рассчитывать необходимое количество выпусков на любую из доменных печей.

Статистическая обработка данных работы отечественных и зарубежных доменных печей показала, что объемная интенсивность выхода продуктов плавки из печи при форсированном ходе колеблется в пределах от 1,8 до 2,2 м в минуту. Это позволяет утверждать, что при удельном выходе шлака 450-500 кг/т, интенсивность выпуска чугуна на отечественных печах составляет 3,5-5,5 т/мин, а шлака – 2,0-2,5 т/мин.

На зарубежных доменных печах объемом 4000 м³ и более, при выходе шлака 280-320 кг/т чугуна, интенсивность выпуска чугуна достигает 7,5-8,5 т/мин, а шлака 2,1-2,4. Скорость накопления чугуна в горне, при удельной производительности 2,8-3,0 т/мин, достигает 7,5-8,0 т/мин [5]. Из этого следует, что интенсивность выпуска жидких продуктов плавки равняется скорости накопления. Другими словами: количество жидкости в горне поддерживается на постоянном уровне.

Авторы [7] считают, что для печи объемом 1033 м³ оптимальная масса выпуска с учетом накопления продуктов плавки в период выпуска, составляет

Таблица 1

Параметры интенсивности наполнения горна жидкими продуктами плавки доменных печей Украины

Наименование параметров	Принятые условия: Кип0 – 0,5 м ³ /т сутки;								
	Выход шлака – 450 кг/т; Kзап = 50 %; запас – 25 %;								
Объем ДП, м ³	700	1033	1386	1513	1719	2000	2700	3000	5000
Производство, т/сутки	1400	2100	2750	3000	3400	4000	5400	6000	10000
Объем горна, м ³	90	142	175	232	225	231	380	359	615
Объем жидкости в гребет исходя из принятых условий, м ³	34	53	66	87	85	86	143	135	230
	1,0	1,45	1,9	2,1	2,4	2,7	3,75	4,0	6,9
Интенсивность накопления в горне: т/мин чугуна шлака	0,45	0,65	0,86	0,95	1,1	1,25	1,68	1,8	3,1
	0,34	0,5	0,67	0,7	0,85	1,0	1,3	1,4	2,4
Объемная интенсивность накопления, м ³ /мин	0,34	0,5	0,67	0,7	0,85	1,0	1,3	1,4	2,4
Время заполнения, мин	100	112	100	125	101	115	110	96	96
Накопление в горне, т чугуна шлака	100	162	190	261	240	310	411	384	662
	45	73	86	117	108	140	185	173	298

210 т чугуна. Выпуск начинается при накоплении чугуна 150 т. Согласно наших расчетов (табл. 2) выпуск открывается при накоплении 151 тонны чугуна, что точно соответствует экспериментальным данным и соответствует суточной производительности 1700-1800 т чугуна. Количество выпусков при этом не должно превышать 8 в сутки при его продолжительности не менее 40 мин.

Аналогичные результаты получены на печи объемом 2700 м³, где количество выпусков составляет 8 в сутки и продолжительности выпуска более 120 мин при производстве чугуна 4800-5000 тонн.

Анализ процесса накопления продуктов плавки и их выпуска из горна доменной печи объемом 3000 м³ за период с июня по январь (2007-2008 гг.) показал, что время выпуска составляет 58 мин при их количестве 16-18 выпусков в сутки.

Продолжительность выпуска составляет всего 36,2 % от расчетного периода накопления. Фактически это работа на так называемом «сухом горне». Данный режим отработки продуктов плавки приводит к резким и частым колебаниям скорости схода шихты, перепадов давления по высоте печи, нарушая газодинамику процесса, вызывает загромождение горна и, как следствие, отрицательно влияет на работу печи в целом. Особенно работа доменной печи

ухудшается при применении пылеугольного топлива, так как условия загромождения горна возрастают.

Таким образом, теоретические расчеты, выполненные с учетом существующих условий работы доменных печей, могут быть использованы при выборе количества выпусков и составлении графика выпусков, позволяющих интенсифицировать процессы плавки.

Выводы

График выпусков необходимо составлять с учетом накопления в горне чугуна и шлака, исходя из условий работы каждой доменной печи.

Для стабилизации газодинамического режима плавки и скорости схода шихты необходимо максимально (по возможности) удлинить продолжительность выпуска. Работа на «сухом горне» приводит к ухудшению процесса плавки.

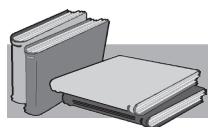
При объемной скорости накопления продуктов плавки в горне более 2,0-2,2 м³/мин выпуск должен быть практически непрерывным, независимо от интенсивности выхода чугуна.

Высокий выход шлака (450-500 кг/т) в большей мере влияет на объемную интенсивность накопления жидких продуктов плавки в горне, что вызывает необходимость увеличивать количество выпусков.

Таблица 2

Расчетные параметры наполнения горна доменной печи объемом 1033 м³

Объем печи	м ³	1033,00	1033,00	1033,00	1033,00	1033,00	1033,00	1033,00
КИПО	т/м ³ сутки	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
Вшл	кг/т	430,00	450,00	470,00	480,00	485,00	485,00	490,00
Узап	м ³	53,00	53,00	53,00	53,00	53,00	53,00	53,00
Производство	т/сутки	2582,50	2066,00	1721,67	1475,71	1291,25	1147,78	1033,00
Приход чугуна в горн	т/мин	1,79	1,43	1,20	1,02	0,90	0,80	0,72
Приход шлака в горн	т/мин	0,77	0,65	0,56	0,49	0,43	0,39	0,35
Приход чугуна в горн	м ³ /мин	0,26	0,21	0,17	0,15	0,13	0,12	0,10
Приход шлака в горн	м ³ /мин	0,35	0,29	0,26	0,22	0,20	0,18	0,16
Время заполнения	мин	86,82	105,70	123,63	142,43	161,76	181,98	200,95
Масса чугуна за время	т	155,71	151,66	147,81	145,96	145,05	145,05	144,16
Масса шлака за время	т	66,95	68,25	69,47	70,06	70,35	70,35	70,64
Общая масса за время	т	222,66	219,90	217,28	216,02	215,40	215,40	214,79
Рекомендуемое кол-во выпусков в сутки	т	11,60	9,40	7,92	6,83	5,99	5,33	4,81



ЛИТЕРАТУРА

1. Готлиб А. Д. Доменный процесс. – Издательство «Металлургия», 1966 г. – 503 с.
2. Гончаров Б. Ф., Соломахин И. С. Производство чугуна. – М.: Metallurgy, 1965. – 366 с.
3. Ковшов В. Н., Петренко В. А., Егоров Н. А. Газодинамическая оценка процесса накопления продуктов доменной плавки. – Известия вузов. Черная металлургия, 1984. – № 3. – С. 29-33.
4. Егоров Н. А., Ковшов В. Н., Петренко В. А. Взаимосвязь уровня расплава и газораспределения в нижней части доменной печи. – Известия вузов. Черная металлургия, 1986. – № 5. – С. 24-25.
5. Heart management at Sidmar for optika1 hot metal and slag evacuation/ Sergeant R., Bonte L., Hysse K., Daelman A. // ECIC. 2005. 12-15 June. Proceedings. Second Vol.
6. Ковшов В. Н., Петренко В. А. Экспериментальные исследования движения шихты и газа в доменной печи. – Институт технологии. Днепропетровск, 1996. – 124 с.
7. Экспериментальные исследования методов интенсификации доменного процесса / И. И. Дышлевич, В. Н. Ковшов, А. А. Полищук // Днепропетровск: Институт технологии, 2002. – 102 с.

Анотація

Ткач О. О., Ткач О. Я., Петренко В. О., Ковшов В. М.

Розробка раціонального режиму накопичення і випуску рідких продуктів плавки із доменної печі

Виконано технологічні розрахунки процесу накопичення рідких продуктів плавки у горні, виходячи з умов роботи доменних печей в Україні. Показана можливість визначення оптимальної кількості випусків для конкретної доменної печі і використання отриманих результатів при складанні графіків випусків. Показано, що процеси накопичення тісно пов'язані з якістю залізородних матеріалів і коксу, що у свою чергу робить вплив на питомий вихід шлаку і об'ємну інтенсивність заповнення металоприємника. Розраховано, що при об'ємній інтенсивності заповнення горна більше $2,2 \text{ м}^3/\text{хв}$ випуск продуктів плавки повинен бути безперервним.

Ключові слова

накопичення, випуск, продукти плавки, доменна піч, заповнення горна, графік випусків, інтенсивність заповнення

Summary

Tkach A. A., Tkach A. Y., Petrenko V. A., Kovshov V. N.

The development of the rational mode of both accumulation and output of liquid casting products from the blast-furnace

The technological calculations of the accumulation process of liquid casting products in the hearth taking into account blast-furnace operating conditions in Ukraine were done. Both the possibility of determining the optimum quantity of outputs for a certain blast furnace and the usage of the obtained results by making graphs of outputs are shown. It has been demonstrated that accumulation processes are closely related to the quality of iron-ore materials and coke and it exerts influence on the specific yield of slag and the volume intensity of the filling of a blast-furnace hearth conversely. It has been calculated that in terms of the volume intensity of the filling of a blast-furnace hearth more than $2,2 \text{ m}^3/\text{min}$ the output of casting products must be continuous.

Keywords

accumulation, output, casting products, blast-furnace, filling of a blast-furnace hearth, graphs of outputs, intensity of the filling

Поступила 09.04.14