

ОКРУЖНАЯ НЕРАВНОМЕРНОСТЬ РАБОТЫ ГОРНА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Приведені результати теоретичних та практичних досліджень причин окружної нерівномірності роботи горна та доменної печі вцілому і розробки мiр їх ліквідації.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами.

В современных условиях, при освоении мощных доменных печей, оснащённых несколькими чугунами лётками, наиболее сложной задачей явилась организация работы горна. Планомерные горновые работы не решают в полной мере вопрос стабилизации работы низа печи. Значительно чаще стали встречаться расстройства его работы, которые приводят к похолоданию печи, неполному выпуску продуктов плавки, нестабильной длительности выпуска, к колебанию химического состава целевого продукта, массовому горению воздушных фурм.

Эти явления связаны с загромождением горна коксовой мелочью, сажистым углеродом, графитовой спелью, что в свою очередь приводят к нарушению равномерности технологических параметров доменной плавки. Наряду с этим, доменные печи большого объёма в отличии от малых, при длительных нарушениях равномерности распределения параметров комбинированного дутья по окружности печи, отработки продуктов плавки по лёткам, могут значительно изменять режим работы (интенсивность плавки, равномерность схода шихты, качество чугуна и т.д.).

Для стабилизации работы мощной доменной печи необходимо, во-первых, оперативно выявлять окружную неравномерность хода плавки, во-вторых, определять причины, порождающие отклонения, и в третьих, разрабатывать и внедрять мероприятия по ликвидации этой неравномерности. Разработанные мероприятия должны быть не сложные, эффективные и позволяли бы уменьшать расходы по переделу.

Анализ результатов теоретических и практических исследований образования причин окружной неравномерности работы горна доменной печи.

Характерной особенностью работы мощных доменных печей является окружная неравномерность, приводящая к существенной разнице между химическим составом чугуна и шлака, массе их выпуска из раз-

личных чугуновых лётков. На всех доменных печах неоднородность параметров состава жидких продуктов плавки имеет неустойчивый характер и изменяется во времени по величине и местоположению по случайному закону [1]. Кроме того, при этом наблюдается большой разброс периферийных температур по шахте, различный паросъём по бакам-сепараторам, перекося шихты на колошнике и различные тепловые нагрузки на холодильниках по окружности печи.

Окружная неравномерность может быть вызвана перекося уровня шихты, в результате установившегося неравномерного распределения материалов и газов по сечению печи, неправильной установкой загрузочного устройства, длительными нарушениями в работе вращающегося распределителя шихты, неплотностями и износом газоплотняющих устройств, наличием настыли или продува в газовом затворе, неравномерным распределением природного газа и горячего дутья по фурмам, нарушением гидродинамических условий горна, прогаром водоохлаждающих приборов [2-6].

Постановка задачи. Осуществить анализ окружной неравномерности работы мощной доменной печи, выявить причины её вызывающие и разработать мероприятия по их ликвидации.

Изложение материала и полученные результаты. На доменной печи может иметь место стационарная и нестационарная окружная неравномерность её работы. Стационарная неравномерность наблюдается на протяжении периода работы печи от 10 дней до одного месяца. Она может быть обусловлена неисправностью, неправильностью эксплуатации, неточностью наладки технологического оборудования, систем ручного и автоматического управления доменным процессом.

Нестационарная неравномерность работы печи может проявляться во времени до нескольких суток. Неравномерность характеризуется более высокой частотой и не может быть оперативно устранена существующими методами управления. Появление нестационарной неравномерности может быть вызвано случайными нарушениями загрузки шихтовых материалов, сильными оползаниями гарниссажа, прогаром охлаждающих холодильников, воздушных фурм и т.д. Поэтому её влияние не представляет практического интереса в вопросах оптимизации ведения процесса.

В конечном итоге, на технико-экономические показатели печи сказывается суммарное влияние стационарной, нестационарной и высокочастотной окружной неравномерности работы.

Условное разделение понятий окружной неравномерности работы печи необходимо для реализации методики её контроля, выявления причин возникновения неравномерности и разработки соответствующих

мероприятий по её ликвидации или уменьшению отрицательных последствий.

Методика оценки стационарной и нестационарной неравномерности заключается в следующем. С помощью методов математической статистики подвергаются анализу результаты работы доменной печи за предшествующий период длительностью от 10 дней до 12 месяцев.

Анализ включает в себя определение средних значений, среднеквадратичных отклонений.

Выборка данных для анализа осуществляется по секторам доменной печи, число которых соответствует количеству чугунных лётков. Доменная печь объёмом 3000 м³ условно была разделена на три сектора, в зависимости от числа лётков. В качестве характеристик окружной неравномерности использованы абсолютная разница и средние значения следующих параметров: время накопления и длительность выпуска продуктов плавки; количество выпускаемого чугуна и шлака за один выпуск, сутки; химический состав чугуна и шлака; паросъём системы испарительного охлаждения; температура чугуна.

Выполненный статистический анализ показал наличие на доменной печи явно выраженной стационарной окружной неравномерности работы ее нижней зоны, которая заключается в следующем (таблица).

Наибольшее количество выпусков было произведено на чугунную лётку №1, наименьшее – на чугунную лётку №3. В процентном соотношении количество выпусков на первую чугунную лётку составило 36,8%, на вторую – 34,0%, на третью – 29,2%.

Среднее время наполнения горна и длительность выхода продуктов плавки практически одинаково, не зависит от того, на какую лётку осуществлялся выпуск, и составляет около 36,1 минут и 64,9 минут соответственно.

Количество шихтовых материалов, загруженных на колошнике печи, в среднем составляло 13,6 подач и почти не зависит от того, на какую лётку осуществлялся выпуск.

Наиболее существенное различие наблюдается в количестве выданных продуктов плавки по лёткам. Средняя масса чугуна за выпуск наибольшая на чугунную лётку №3 (в 1,51 раза больше, чем на чугунную лётку №1, и в 1,13 раза больше, чем на чугунную лётку №2). Относительная неравномерность по выданной массе чугуна составила около 50%.

С другой стороны, среднее количество ковшей выданного шлака за выпуск на чугунную лётку №3 наименьшее (в 1,67 раза меньше, чем на чугунную лётку №1, и в 1,43 раза меньше, чем на чугунную лётку №2). Окружная относительная неравномерность составила около 67%. Она не может быть обусловлена длительностью выпуска, поскольку средняя продолжительность отработки продуктов плавки по чугунам

лёткам практически одинакова (64-66 минут), не может быть обусловлена количеством выпусков в сутки, в среднем за год их количество составило на чугунную лётку №1 – 5,2 выпуска в сутки, на чугунную лётку №2 – 4,7 выпуска в сутки и на чугунную лётку №3 – 4,1 выпуска в сутки. В какой-то мере количество выпусков по лёткам оказывает влияние на окружную неравномерность работы горна, однако полностью не объясняет имеющихся различий по массе отработанных продуктов плавки.

Таблица – Среднегодовые технологические параметры окружной неравномерности работы доменной печи объёмом 3000 м³

Параметры	№ лётки			Среднее значение	
	2	3	4		
1	2	3	4	5	
Количество выпусков, шт.	5,2	4,7	4,1	14,0	
Время наполнения, мин.	36,1	36,4	35,6	36,1	
Длительность выпуска, мин.	65,0	65,8	63,8	64,9	
Количество подач за выпуск, шт.	13,5	13,7	13,6	13,6	
Количество чугуна за один выпуск, т.	300	401	462	382	
Суточный выход чугуна, т.	1545	1901	1880	5326	
Количество ковшей шлака за один выпуск, шт.	8,2	7,0	4,9	6,8	
Суточный выход ковшей шлака, шт.	42,4	33,0	20,1	95,5	
Содержание в чугуне	Si, %	0,877	0,846	0,809	0,847
	Mn, %	0,145	0,138	0,135	0,140
	S, %	0,0215	0,0199	0,0224	0,0212
Основность шлака	1,232	1,241	1,235	1,236	

Как показал анализ, чугунная лётка №1 выдаёт существенно меньше чугуна в сутки, чем должно быть по расчёту, а шлака – наоборот, гораздо большее количество. Чугунная лётка №3 выдаёт выше расчётного количество чугуна, а шлака меньше, а чугунная лётка №2 отрабатывает несколько завышенное количество чугуна, шлака – ближе к расчётному.

В расчёте на сутки, количество чугуна через чугунную лётку №1 выходит 1545 тонн, через чугунную лётку №2 – 1901 тонна, через чугунную лётку №3 – 1880 тонн. Неравное количество выпусков по лёткам в какой-то мере даже выравнивает, сглаживает за сутки окружную неравномерность по массе выпущенных продуктов плавки. Аналогич-

ная картина наблюдается и по количеству ковшей вышедшего шлака по лёткам.

Создавшееся положение на доменной печи можно объяснить неправильной, неравномерной загрузкой шихтовых материалов, неравномерностью параметров комбинированного дутья попадающего в печь по окружности горна, асимметричностью геометрических размеров нижней части печи, чугунных лётков.

Неравномерная загрузка материалов на колошнике доменной печи в сочетании с окружной неравномерностью по массе продуктов плавки, должна привести к существенной неравномерности по химическому составу. Однако, по средним данным за год химический состав чугуна и шлака практически по всем лёткам стабилен. Это свидетельствует о том, что загрузка шихтовых материалов в норме. Соответствующие службы оценили работу засыпного аппарата удовлетворительной. Остаются остальные две причины. Неравномерное перераспределение параметров комбинированного дутья по окружности печи может оказать влияние на химический состав продуктов плавки, однако этого не показывают результаты статистической обработки. Оно не в силах вызвать такой существенный перекоп по массе продуктов плавки. Остаётся последнее—нарушена гидродинамика движения продуктов плавки во время отработки их из горна печи. Необходимо детально проанализировать эту версию, для полной уверенности в её справедливости.

На чугунной лётке №2 возросло количество выходящего чугуна, а особенно шлака.

На основании вышеизложенного напрашивается единственный вывод: каналы чугунной лётки находятся на различных уровнях по высоте горна.

Следует предположить, что чугунная лётка №3 находится по высоте на самом низком горизонте, и поэтому она выдаёт максимальное количество чугуна. Напротив, чугунная лётка №1 расположена на самом высоком горизонте горна и поэтому она выдаёт меньшее количество чугуна, однако самое большое количество шлака. Положение усугубляется ещё и тем, что она отработывает гораздо больший сектор горна, относительно второй и третьей лётки. Доказательством справедливости этих выводов служит и тот факт, что зачастую (особенно, когда предшествовал выпуск на чугунную лётку №3), на первой лётке выпуск начинался шлаком вперёд. Поскольку чугунная лётка №3 находится ниже остальных, она выдаёт наибольшее количество чугуна, и, тем самым, значительно снижает уровень его в печи, который за период наполнения не всегда достигает горизонта чугунной лётки №1.

Чугунная лётка №2 находится по высоте на среднем горизонте между чугунными лётками №1 и 3. Поэтому она выдаёт большое количество как чугуна, так и шлака.

Аномалией в горне печи является тот факт, что на третью лётку выходит малое количество шлака. Возможной причиной этого явления может служить наличие стационарной застойной зоны в секторе воздушных фурм № 18-22, препятствующей перетоку шлака к чугунной лётке №3. Нарушением, по всей видимости, является не соблюдение соотношений компонентов комбинированного дутья в этой зоне.

Наличие неравномерности выдачи массы продуктов плавки по окружности горна безусловно сказывается и на химическом составе чугуна и шлака.

Содержание кремния в чугуне, который выходит через чугунную лётку №1 – наибольшее, а на чугунной лётке №3 – наименьшее. Аналогично распределяется и содержание марганца. Объясняется это тем, что на первой лётке выдаётся свежевосстановленный чугун, имеющий повышенное содержание кремния. На чугунную лётку №3 выдаётся чугун из нижележащих слоёв, который имеет более низкую температуру и претерпевает химическую сегрегацию (содержание кремния минимальное). Более того, из-за образования стационарной застойной зоны шлака, имеет место понижение температуры расплавов, что также уменьшает содержание кремния в чугуне.

Колебания химического состава чугуна наибольшие в районе чугунной лётки №1, поскольку в нём он меньше всего усредняется, а наименьшие – в районе чугунной лётки №3, где происходит максимальное усреднение.

Наиболее качественный чугун по содержанию серы выходит на чугунной лётке №2. В этом секторе самые благоприятные условия для десульфурации целевого продукта. Во-первых, в секторе средний физический нагрев, во-вторых, основность шлака несколько завышенная и наконец в третьих, через лётку выходит большое количество и шлака, и чугуна, что приводит к дополнительной десульфурации чугуна в канале лётки. В секторе чугунных лёток №1 и №3 условия десульфурации несколько хуже, поэтому содержание серы в чугуне несколько завышено.

Для проверки вышеизложенных предположений следует установить действительное расположение лёток по высоте горна печи, а кроме того определить состояние распределения параметров комбинированного дутья по окружности печи.

С помощью нивелира, рейки и метода последовательных ходов были определены на доменной печи высоты расположения каналов чугунных лёток. Замеры производили неоднократно с проверками обратного хода. Наибольшая ошибка составляла около 10 мм. Результаты за-

мера следующие. Чугунная лётка №2 и №3 расположены ниже чугунной лётки №1 на 20 и 50 мм, соответственно.

Кроме того, измерения углов наклона рабочего органа бурильных машин показали, что угол наклона бура машины №1 составил $12,5^{\circ}$, а у машины №2, обслуживающей чугунные лётки №2 и №3 – $14,5^{\circ}$. При средней длине канала лётки 2,7-2,9 м разница угла наклона буров 2° приводит к тому, что внутреннее отверстие чугунной лётки №1 находится выше отверстия чугунной лётки №2 и №3 на 101 мм.

Следовательно, фактически внутренние отверстия чугунных лётки №2 и №3 относительно чугунной лётки №1 находятся ниже на 121 мм и 151 мм соответственно.

Площадь горна доменной печи составляет:

$$\left(\frac{11,6}{2}\right)^2 \times 3,14 = 105,6 \text{ м}^2,$$

где 11,6 – диаметр горна, м.

Объём горна между уровнями чугунных лётки №1 и №2 составляет:

$$105,6 \times 0,120 = 12,7 \text{ м}^3,$$

а между уровнями чугунных лётки №1 и №3 –

$$105,6 \times 0,150 = 15,8 \text{ м}^3.$$

Соответственно, в этих объёмах горна между лётками по высоте скапливается $12,7 \times 7,4 = 94,38$ тонн между первой и второй, и $15,8 \times 7,4 = 116,92$ тонн между первой и третьей (где $7,4 \text{ т/м}^3$ удельный вес передельного чугуна).

Чугунная лётка №1 находится выше всех лётки и из условий гидродинамики она выдаёт меньше чугуна, но больше шлака. Чугунная лётка №3 расположена ниже всех, поэтому она выдаёт больше чугуна, но меньше шлака. Вполне объяснимо, что после выпуска продуктов плавки на чугунную лётку №3 очередной выпуск на чугунную лётку №1 зачастую сопровождается выходом вперёд шлака, поскольку объём полученного чугуна между выпусками недостаточен для заполнения объёма горна от уровня чугунной лётки №3 до уровня чугунной лётки №1.

Для нормализации работы доменной печи был установлен одинаковый угол сверления канала чугунной лётки. В течении недели была ликвидирована окружная неравномерность работы доменной печи, что

позволило увеличить производительность печи на 5,1%, сократить расход кокса на 1,22%, уменьшить частоту горения воздушных фурм на 40%.

Выводы. Имеющаяся неравномерность работы печи, вызванная нарушением гидродинамических условий горна, оказывает существенные влияния на колебания химического состава чугуна и шлака по окружности печи, а также массы выдаваемых продуктов плавки по различным чугунным лёткам.

Для своевременной диагностики окружной неравномерности работы горна доменной печи, необходима организация определения величины средних значений и среднеквадратичных отклонений массы выдаваемых продуктов плавки и их химического состава по разным чугунным лёткам, а также проведение мероприятий по определению причин, их вызывающих, и принятие мер по их ликвидации. Это позволит улучшить технико-экономические показатели работы доменной печи.

Приведены результаты теоретического и практического исследований причин окружной неравномерности работы горна и доменной печи в целом и мероприятия по их ликвидации.

The results of theoretical and practical investigations of the reasons of circle irregularity of hearth and blast-furnace operation and development the measures on their liquidation.

Библиографический список

1. Рожавский Л.И., Негинский Б.М., Кочанов А.В. Анализ окружной неравномерности работы доменных печей большого объёма. // *Сталь*. - 1981.- №5. – С. 18-22.
2. Технологическая инструкция по доменному производству: ТИ 229-Д-031-14-2001; Утв. гл. инженером комбината. Срок действия установлен с 15.09.2001г. до 1.01.2005г. – Алчевск 2001. – 131 с.
3. Кацман В.Х., Емельянов В.А., Складовский Е.Н. Влияние равномерности процессов плавления железорудных материалов на показатели доменной плавки и однородность химического состава чугуна. // *Металлургия и коксохимия*. – 1984.– Вып. 84, – С. 37-39.
4. Онорин О.П., Гладышев В.И., Каплун Л.И. Фильтрация железистых шлаковых расплавов через коксовую насадку. // *Известия ВУЗов. Чёрная металлургия*.– 1987.– №2. – С. 11-12.
5. Ефименко Г. Г. и др. *Металлургия чугуна* / Г. Г.Ефименко, А.А. Гиммельфарб, В.Е.Левченко. – Киев: Вища школа, 1981. – 496 с.
6. Кротов В.К. Механизм и скорость обновления кокса в горне доменной печи. // *Сталь*. – 1986.– № 12. – С. 11-13.