УДК 669.162

М.С. Кузнецов¹, газовщик, e-mail: maks_kuznetsov82@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6065-9929>**Г.Ю. Крячко²**, канд. техн. наук, доц., e-mail: krachkogennadij@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8773-508X>**С.А. Стороженко²**, канд. техн. наук, доц., e-mail: storog69@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-8902-2967>¹ПАО «Днепропетровский металлургический комбинат» (Каменское, Украина)²Днепропетровский государственный технический университет (Каменское, Украина)

О закономерностях в изменении температуры чугуна на выпуске из доменной печи

Рассмотрены закономерности изменения температуры чугуна на выпуске в процессе совершенствования технологии выплавки чугуна. В зависимости от соотношения затрат времени на накопление продуктов плавки и выпуск их из доменных печей предложено классифицировать выпуск на три основных вида: периодические с малоподвижной коксовой насадкой, периодические с подвижной коксовой насадкой и квазинепрерывные, когда продолжительность периода накопления расплавов существенно меньше времени выпуска. Приведены результаты исследования изменения температуры чугуна в процессе выпуска на доменных печах объемом 1500 и 1386 м³.

Технология ведения печей отличалась принятыми шлаковым режимом и наполнением горна перед выпуском продуктов плавки. В период исследований удельная производительность доменных печей изменялась в пределах 50–55 т/м²·сут., а масса выпуска – от 190 до 370 т. Температуру чугуна в процессе выпуска измеряли высокотемпературным пирометром НТ-6898. Расстояние от струи металла до окуляра прибора 2,0–2,5 м. Тестирование показаний пирометра производили единовременным замером температуры чугуна термпарой погружения ТПР 0290М. Отклонения показаний термпары от показаний пирометра находились в пределах 0,2–1,2 %.

В процессе исследования на полученных кривых изменения температуры чугуна в темпе выпуска обнаружены характерные минимумы, относящиеся к 0,5–0,67 времени нормализованной шкалы выпусков. Отмечено, что полученные данные совпадают с результатами других исследований, приведенных на печах с «плавающей» коксовой насадкой. Исходя из рассмотрения баланса сил, действующих на коксовую насадку, объяснены причины существования установленной закономерности в изменении температуры чугуна на выпуске.

Показано, что измерение температуры чугуна в темпе выпуска продуктов плавки дает не только информацию об изменениях в нагреве горна, но может быть использовано в качестве индикатора процессов, происходящих в коксовой насадке.

Ключевые слова: закономерность, изменение, температура, чугун, накопление, выпуск, доменная печь, коксовая насадка.

Введение. Контролю изменения температуры чугуна на выпуске из доменной печи для оперативного управления доменным и кислородно-конверторными процессами уделялось должное внимание [1, с. 5]. В свое время было предложено два метода оценки теплового состояния горна доменной печи по анализу формы кривой изменения температуры чугуна на выпуске (метод К. Джи [1, с. 12]) и по анализу текущего и ряда предшествующих усредненных за выпуск значений температуры чугуна (метод Д. Шелленбергера и Т. Пауэлла [1, с. 13]). В ряде случаев непрерывный контроль температуры чугуна на выпуске использовали для объяснения особенностей движения расплавов [2, 3] и кокса [4] в горне.

В одной из известных работ [5, с. 18] утверждалось о том, что многочисленными исследованиями изменения температуры чугуна по ходу выпуска продуктов плавки из доменной печи показана идентичность характера ее изменения. Общее, по мнению автора, состоит в росте температуры от начала выпуска (15–40 % времени от общей продолжительности

выпуска), достижении максимума и сохранении повышенной температуры до закрытия чугунной летки. В отдельных случаях, отмечает исследователь [5], в конце выпуска температура чугуна снижается.

Следует заметить, что вследствие серьезных препятствий исследования изменения температуры чугуна на выпуске проводились далеко не так часто, как это было необходимо для изучения вопроса. Среди основных препятствий – низкая стойкость контактных средств измерения и помехи, возникающие при использовании пирометрических датчиков. Что касается закономерностей в изменении температуры выпускаемого чугуна, то и здесь, как показывает практика, нет ясности. Наряду с утверждениями об идентичности характера кривых изменения температуры металла на выпуске для разных печей [5] и подобии температурных диаграмм для отдельных печей [1] существуют противоречащие указанному мнению данные [4, 6].

Анализ литературных данных. Авторами данной статьи обобщены данные об измерениях температуры чугуна на выпуске из доменных печей,

выполненные в разное время и с применением различных средств измерения. Для обеспечения сопоставимости данных продолжительность выпусков по возможности представили в виде нормированного показателя [7], в котором выборочные моменты времени в каждом цикле выпуска представлены в нормализованной шкале времени τ по уравнению:

$$\tau_i = (i-1) / (N-1),$$

где N – количество значений в выборке; i – номер текущего значения.

В принципе начальная температура чугуна, измеренная на желобе, не отвечает фактической температуре металла на момент выхода его из летки ввиду потерь тепла на теплообмен с главным горновым желобом. Тем не менее для удобства рассмотрения зависимостей начальный замер температур чугуна отнесен к условному нулю нормированного выпуска (рис. 1).

Информация об измерении температуры чугуна на выпуске, относящаяся к доменной плавке 50-х годов XX века [2], представлена на (рис. 1, а). Характер кривых отвечает описанию [5], в соответствии с которым вначале выпуска температура растет, затем достигает максимума и до завершения выпуска может снижаться. Замер температуры металла производился оптическим пирометром без тестирования погружной термопарой. Указания на место визирования пирометра в работе [2] отсутствуют. На данном этапе развития доменной технологии в связи с низкой производительностью агрегатов периодический выпуск продуктов плавки производился со значительными интервалами времени на накопление расплавов. Увеличение числа выпусков на печах с одной чугунной леткой сдерживалось низким качеством огнеупорных масс, уровнем механизации горновых работ и большими затратами времени на подготовку желобов к выпуску [8]. По данным указанной работы, на магнитогорских доменных печах объемом 1370 м³ в 1954 году при семи выпусках время накопления расплавов ниже шлаковых леток составляло примерно 18 часов в сутки.

Данные измерений температуры, которые относятся к плавке 70-х годов прошлого столетия (рис. 1, б) на одной и той же доменной печи [4], противоречат распространенному мнению [1, 5]. Низкую температуру чугуна в самом начале выпуска нельзя считать общей закономерностью, поскольку первые порции выходящих продуктов плавки интенсивно участвуют в теплообмене между выходящими расплавами и непрогретой леткой, а также главным горновым желобом либо пустым после ремонта, либо заполненным после предыдущего выпуска. Особенностью измерений является указание времени начала выхода нижнего шлака. Общим для выпусков 3 и 4 является наличие выраженных минимумов температуры в первой половине выпусков, несмотря на разные тенденции в изменении нагрева металла. Выпуск 3 указывал на снижение нагрева, четвертый – на повышение колебания температуры чугуна в период выпуска. Колебания температуры чугуна в период выпуска автор [4] объяснял прерывным опусканием кокса в горне.

В связи с низкой стойкостью леточных и желобных масс и возросшей производительностью печей выпуск продуктов плавки был также резко периодическим, когда период накопления расплавов был продол-

Рис. 1. Изменение температуры чугуна на выпусках из доменных печей: а – объемом 1033 м³ (1) и 1386 м³ (2) по данным [2]; б – объемом 2000 м³, выпуски (3) и (4) по данным [4]; в – объемом 5000 м³ (5) и 3200 м³ (6) по данным [8, 9]; 3' и 4' время появления шлака на выпусках 3 и 4 показано вертикальным пунктиром

жительнее периода выпусков. Так по данным [8], на магнитогорских доменных печах объемом 2000 м³, оборудованных двумя чугунными летками, в 1970 году при 12 выпусках время накопления расплавов составляло 16 часов в сутки.

Доменная плавка на мощных доменных печах объемом 5000 м³ [9] и 3200 м³ [10], относящаяся к началу 80-х годов XX века, представлена кривыми изменения температуры чугуна на выпусках 5 и 6 (рис. 1, в). На печи объемом 5000 м³ измерения произведены погружной термопарой на 4-й летке. Первые порции чугуна имели более высокую температуру, чем в момент времени, отвечающий 0,17 продолжительности нормированного выпуска. Характер кривой 6, отражающий изменение температуры чугуна на печи объемом 3200 м³ в некоторой степени подобен диаграммам, представленным на (рис. 1, а). Однако информации о методике измерения температуры металла в работе [10] не приведено, что не позволяет сделать определенные выводы.

Внедрение на доменной печи № 9 комбината «Криворожсталь» системы непрерывного измерения температуры чугуна на выпуске [11] при 18-разовом графике позволило получить достаточно большой объем информации. Результаты систематических наблюдений за динамикой температуры чугуна на 602 выпусках показали отсутствие какой-либо закономерности в характере изменения температуры чугуна по ходу выпуска. При этом было установлено, что колебательный характер изменения температуры чугуна на выпуске отмечался при неустойчивой работе печи. В последующем созданная информационная подсистема измерения температуры металла на выпуске использовалась технологическим персоналом для определения тенденции изменения теплового состояния печи, в частности, за пять последних выпусков [11].

Приведенные выше примеры [9, 10, 11] являются результатом изменения технологии выпуска с резко периодической до квазинепрерывной с интервалами между выпусками в среднем 15–20 мин [10]. Этому способствовали возросшая абсолютная производительность печей, увеличение числа чугунных леток и стойкости огнеупорных масс для обслуживания горновых операций. Продолжительность накопления расплавов при квазинепрерывном выпуске значительно меньше продолжительности выпусков.

К сожалению, редким примером изменения температуры чугуна на выпуске из доменной печи, работавшей по технологии 70-х годов XX века, является информация, размещенная в работе [3]. Температуру металла измеряли вольфрам-молибденовой термопарой погружения. Поскольку данные о продолжительности выпуска в этой работе отсутствуют, возможности показать данные в привязке к нормированному времени выпуска не было. Следуя графической интерпретации эксперимента (рис. 2) в начале налива третьего (среднего за выпуск) ковша, зафиксирована минимальная температура при установившемся движении чугуна. Авторы исследования [3] связывают снижение температуры металла с появ-

Рис. 2. Изменение температуры чугуна по ходу выпуска из доменной печи объемом 2000 м³ Криворожстали по данным [10]: обозначение пунктиром то же, что и на рис. 1.

лением шлака и уменьшением скорости его выхода. Как и на печи Западносибирского металлургического комбината (см. рис. 1, б) минимум на кривой изменения температуры приходился на первую половину продолжительности выпуска.

Особый интерес представляют результаты измерения температуры продуктов плавки на доменной печи завода Chiba (Япония) объемом 5000 м³ [6]. Во-первых, плавка отвечает современному уровню технологии. Во-вторых, измерения проводились на выходе струи расплавов из чугунной летки, что исключает влияние теплообмена между «свежими» расплавами и содержимым главного горнового желоба. В-третьих, как и на мощных доменных печах бывшего СССР [9, 10], выпуск продуктов плавки можно считать квазинепрерывным, поскольку интервалы между смежными выпусками составляли 15–30 мин. В качестве датчика использована монохроматическая CCD камера, посылающая сигнал на операционный блок и процессор. Оптическая измерительная система тестировалась термопарой погружения.

Результаты измерений температуры чугуна, полученные авторами [6] за три смежные смены, представлены нами в виде суточного графика (рис. 3), из которого следуют три важных вывода. При квазинепрерывном выпуске характер диаграмм изменения температуры чугуна на выпуске даже из одной летки резко отличается — никаких общих закономерностей изменения температуры в процессе выпуска не наблюдается. Второй момент касается наличия характерных «пик» на кривых как в конце, так и в начале выпусков, что свидетельствует о небольших, но заметных резких изменениях температуры металла, обусловленных механикой слоев кокса и расплавов в горне. И третий вывод касается тренда изменения температуры чугуна во времени — объединенная с небольшими разрывами суточная кривая достаточно хорошо отражает тенденции изменения нагрева печи. Это касается интервала времени между 1 ч. 30 мин

Рис. 3. Суточный график изменения температуры чугуна при квазинепрерывном выпуске продуктов доменной плавки из доменной печи объемом 5000 м³ завода Chiba (Япония) по данным [6]

– 12.00, а также от 12.15 до 24.00. Хорошо прослеживается также «горячая» сторона металлоприемника (чугунные летки № 2 и 3) и «холодная» (летка № 1).

Таким образом, анализ накопленной ранее информации показал отсутствие идентичности в характере измерения температуры чугуна на выпуске не только из разных печей, но и одной и той же. Основными причинами качественного разнообразия являются резкие отличия в процессе накопления и выпуска расплавов, обусловленные объемом, конструктивными особенностями печей и условиями эксплуатации.

Перемещение коксовой насадки и слоев расплавов, отражающееся на изменении температуры чугуна на выпуске, зависит от режима проведения выпусков и конструктивных особенностей доменной печи. В зависимости от соотношения периодов накопления расплавов в металлоприемнике и выпуска из доменной печи следует различать периодический выпуск, когда продолжительность накопления продуктов плавки больше либо близка по величине продолжительности выпусков. Если же суммарная продолжительность выпусков существенно превышает время накопления расплавов, такой выпуск можно считать квазинепрерывным. Периодические выпуски характерны для печей малого и среднего объема, оснащенных одной – двумя летками, квазинепрерывные для мощных домен с тремя – четырьмя летками.

В общем рациональная идея использовать нестационарность доменного процесса, вызванную периодическим выпуском продуктов плавки для повышения эффективности процесса [12], не получила распространения вследствие недостаточного внимания к специфике перемещения коксовой насадки.

Целью настоящего исследования являлось выявление закономерностей в перемещении коксовой насадки основываясь на измерениях температуры чугуна в процессе выпуска продуктов плавки.

Методика исследования. Температуру чугуна в процессе выпуска измеряли с помощью высокотемпературного пирометра НТ-6898. Точность измерения в диапазоне температур от 1000 до 2200 °C ±2 °C. На доменной печи объемом 1500 м³ прибор визировали на струю металла в коренном носке перед качающимся желобом. На печи объемом 1386 м³ измерения производили на струе в желобе на выходе из скимерной коробки – месте с наименьшим задым-

лением. Расстояние от струи до окуляра прибора – 2,0–2,5 м.

Тестирование показаний пирометра производили единовременным замером температуры чугуна термопарой погружения ТПР 0290М с пределами измерений 800–1800 °C с использованием вторичного прибора фиксации температуры Digitemp – Е. Допускаемое запаздывание информации – 10 с, технологический допуск ± 20 °C. Отклонения показаний пирометра от показаний термопары находились в пределах: 0,2–1,2 %.

От типовых печей агрегат объемом 1500 м³ отличается большими на 800 мм высотой горна и на 250 мм глубиной зумпфа, число воздушных фурм доведено до 20 против 18. На печи оборудованы две чугунные летки. Печь объемом 1386 м³ отличается от типового проекта углубленным горном (3400 против 3200 мм) и мертвым слоем (1100 против 450 мм), а также количеством воздушных фурм – 18 против 16. Печь оснащена двумя чугунными летками.

В период исследования доменные печи работали в разных шлаковых режимах – ДП 1500 м³ на кислых шлаках с основностью CaO/SiO₂, близкой единице с последующей десульфурацией чугуна, ДП 1386 м³ на основных шлаках с CaO/SiO₂ более 1,20 и чистым по сере чугуном. Соответственно отличалась и удельная производительность. В нормальном режиме ведения плавки производительность ДП 1500 м³ составляла 54–55 т/м²·сут, ДП 1386 м³ – 50–51 т/м²·сут.

Результаты исследования. Информация об измерениях температуры чугуна в процессе выпусков и характеристики исследованных выпусков представлены на рис. 4 и в таблице. Исключая из внимания начальную температуру металла по причине, изложенной выше, на кривых видны выраженные минимумы, находящиеся в пределах 0,5–0,7 времени нормированного выпуска (ВНВ далее). Заметно смещение минимума во вторую половину ВНВ при увеличении массы выпуска как на печи объемом 1500 м³, так и на меньшей печи. Также заметно влияние нагрева продуктов плавки на продолжительность выпуска – после длительной остановки ДП 1500 м³ выпуск охлажденных чугуна и шлака продолжался 80 мин, тогда как больший по массе выпуск № 39918 хорошо прогретых расплавов был на 10 мин короче (см. таблицу). Отличием явилось и то, что ДП 1386 м³

Данные о выпусках продуктов плавки с измерением температуры чугуна в процессе его истечения

Номер кри- вой на рис. 4	Объем печи, м³	Дата и номер выпуска	Продол- житель- ность выпу- ска, мин	Масса чугуна на вы- пуске, т	Состав чугуна, %				Основность шлака	
					Si	Mn	S	P	CaO/ SiO ₂	CaO+ MgO/ SiO ₂
1	1500	26.01.19 № 39624	80	314,0	0,16	0,05	0,115	0,062	1,04	1,18
2	1500	01.03.19 № 39918	70	368,8	0,56	0,06	0,054	0,060	1,01	1,18
3	1386	25.01.19 № 36009	60	192,2	0,83	0,139	0,010	0,097	1,26	1,41
4	1386	26.01.19 № 36010	60	348,7	0,72	0,13	0,011	0,099	1,22	1,36

работала практически с «сухим» горном – шлак появлялся с небольшой задержкой после открытия летки.

Также нельзя не отметить влияние основности шлака на скорость выхода чугуна – 3,20 т/мин при $\text{CaO} + \text{MgO}/\text{SiO}_2 = 1,41$ и 5,81 т/мин при основности 1,36.

Нетрудно видеть, что результаты нашего исследования хорошо коррелируются с результатами других [3, 4] (см. рис. 1, кривые 3, 4 и рис. 2). На разных печах, работавших в разных сырьевых и эксплуатационных условиях, но с периодическим выпуском продуктов плавки, наблюдается общая закономерность в изменении температуры чугуна в темпе выпуска. Объяснить характер этого изменения можно исходя из баланса сил, действующих на столб шихты, более конкретно, на коксовую насадку и чугунную «ванну».

Известно [12, с. 401], что силе тяжести шихты P , под действием которой происходит опускание материалов в доменной печи, противодействуют по меньшей мере три силы, противоположно направленные: подъемная сила газового потока F_1 , сила трения шихтовых материалов о стенки печи F_2 и подъемная сила жидких продуктов плавки F_3 . Разность между силой тяжести столба шихты P и суммой указанных трех сил получила название «активный вес шихты»:

$$P_a = P - (F_1 + F_2 + F_3).$$

Известно также и то, что F_3 всегда присутствует на доменных печах с большой глубиной зумпфа или разгоревшей лещадей, работающих с большими временными интервалами между выпусками (печи с «плавающей» коксовой насадкой).

В процессе накопления продуктов плавки перемещение коксовой насадки вверх возможно в том случае, если подъемная архимедова сила расплавов больше давления дутья $F_3 > F_1$. При этом происходит «смятие» прифурменных полостей и уменьшение объема подвижного псевдоожиженного слоя кокса ниже зоны когезии [13]. При открытии летки и выпуске первых порций продуктов плавки F_3 монотонно уменьшается, а F_1 возрастает, при $F_1 > F_3$ происходит

Рис. 4. Изменение температуры чугуна на выпусках из доменных печей объемом 1500 м³ (а, б) и 1386 м³ (в) по данным замеров 26.01.2019 (1); 01.03.2019 (2); 25.01.2019, выпуск 36009 (3); 26.01.2019, выпуск 36010 (4): стрелками показаны характерные минимумы на кривых, остальные обозначения как на рис. 1.

опускание коксовой насадки в металлоприемник с выжиманием нижних слоев чугуна с пониженной температурой. Понижение температуры чугуна в нашем исследовании происходит до 0,5–0,67 BHB.

Далее при выполнении условия $F_3 \approx F_1$ опускание коксовой насадки прекращается, и в воронку начинает поступать верхний нагретый чугун. Конечная температура чугуна при завершении выпуска будет зависеть от тенденции в нагреве горна – разогреве или похолодании.

Утверждение о том, что закономерность изменения температуры чугуна на выпуске из доменных печей с «плавающей» коксовой насадкой обусловлена именно ее перемещением, подтверждают наши данные, полученные при исследовании работы доменной печи № 2 ПАО ЕВРАЗ – ДМЗ им. Петровского объемом 700 м³ и оборудованной одной чугунолеткой [14]. Об изменении структуры столба шихты в период выпуска, выражавшемся в сдвиге газодинамических и механических процессов в печи, свидетельствуют данные, представленные на рис. 5. Хорошо видно, что при любом режиме эксплуатации печи (ровный ход 03.05.2013 и ход с нарушениями 10.05.2013) напряженность противотока и устойчивое снижение относительного перепада давлений наблюдались по достижению половины нормированного времени выпуска при стабилизации перемещения коксовой насадки.

В соответствии с режимом работы печи изменялся относительный перепад давлений во время выпусков. В штатном режиме большую часть периода усредненного выпуска относительный перепад уменьшался, а в режиме с нарушением хода – возрастал.

Поэтому не случайно, что при совершенствовании дутьевого режима в условиях нестационарности повышение до максимального расхода природного

газа производили не сразу после открытия чугунолетки, а после появления шлака на выпуске чугуна – примерно в середине выпуска [15, с. 108].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что измерение температуры чугуна в темпе выпуска и учет закономерностей ее изменения дает не только ценную информацию о тепловых процессах в доменной печи, но и данные о состоянии столба шихты, более конкретно коксовой насадки в режиме нестационарности процесса.

Выводы

Рассмотрены закономерности изменения температуры чугуна на выпуске в процессе совершенствования технологии выплавки чугуна. В зависимости от способа опорожнения горна доменной печи от продуктов плавки, состояния коксовой насадки и выдачи расплавов предложено классифицировать выпуски на три основных вида: периодические с малоподвижной коксовой насадкой, периодические с подвижной коксовой насадкой и квазинепрерывные, когда продолжительность периода накопления расплавов существенно меньше времени выпуска. Поэтому, вопреки существующему мнению считать идентичным характер изменения температуры на выпуске из разных доменных печей не представляется возможным. Исходя из указанных отличий выпусков, можно прогнозировать характер изменения температуры чугуна на выпуске и оценивать состояние коксовой насадки в процессе выдачи расплавов.

На двух доменных печах объемом 1500 и 1386 м³, работавших в одинаковых сырьевых условиях, но с отличавшимся шлаковым режимом, исследовано изменение температуры чугуна в процессе выпуска продуктов плавки. Установлено, что для обеих печей характерным является выпуск с подвижной «плавающей» коксовой насадкой. Показано, что измерение температуры чугуна в темпе выпуска продуктов плавки дает не только информацию об изменениях в нагреве горна, но может быть и индикатором процессов, происходящих в коксовой насадке. Поскольку доменные печи малого и среднего объема, как правило, не оснащены устройствами для слежения за перемещением расплавов в горне, то косвенные данные о состоянии столба шихты в нижних горизонтах печи, полученные при непрерывном измерении температуры чугуна на выпуске, будут востребованной информацией для ведения плавки.

Рис. 5. Изменения относительного перепада давлений во время усредненных выпусков при разных режимах работы доменной печи по данным [14]

ЛІТЕРАТУРА

1. Дукарский С.М. Термометрия продуктов доменной плавки. М.: Металлургия, 1976. 120 с.
2. Старшинов Б.Н., Лаврентьев М.Л., Беляев Ю.П., Сеницкий В.Д., Фомин В.Б. Движение чугуна в горне доменной печи. Бюллетень ЦНИИЧМ. 1959. № 24. С. 1–5.

3. Воловик Г.А., Мардер Б.Ф. Характер истечения чугуна и шлака в период выпуска. «Металлургия и коксохимия». 1974. Вып. 38 «Металлургия чугуна». С. 54–60.
4. Пыжов В.Г. О характере движения кокса в горне доменной печи. *Производство чугуна*. Вып. 3. Свердловск: УПИ, 1977. С. 144–149.
5. Федулов Ю.В. Разработка и внедрение эффективной технологии доменной плавки: дис. ... д-ра техн. наук в форме науч. докл.: 05.16.02. Уральский политехн. ин-т. Свердловск, 1988. 45 с.
6. Sugiura M., Otani Y., Nakashima M., Omoto N. Continuous Temperature Measurement of Liquid Iron and Slag Tapped from a Blast Furnace. *SICE Journal of Control, Measurement and System Integration*. May 2014. Vol. 7. No. 3. P. 147–151.
7. Идентификация и количественная оценка плавающего загромождения в горне доменной печи. *Новости черной металлургии за рубежом*. 2006. № 5. С. 17–22.
8. Дружков В.Г., Прохоров И.Е. Выбор режима выпуска чугуна и шлака из горна доменных печей в современных условиях. *Вестник МГТУ им. Г.И. Носова*. 2011. № 4. С. 9–12.
9. Барабан В.С., Маймур Б.Н., Меркулов В.В. Бесконтактное измерение температуры чугуна на выпуске доменной печи. *Тематич. отраслевой сб. «Опыт эксплуатации доменных печей объемом 3000 м³ и более»*. М.: Металлургия. 1982. С. 113–117.
10. Юсфин Ю.С., Альтер М.А., Литвиненко Ю.А., Винкельман Т., Урбанович Г.И., Голошубов А.И. Причины неоднородности химического состава чугуна по ходу выпуска. *Металлург*. 1984. № 5. С. 17–19.
11. Леонов О.И., Шидловский А.А., Гринштейн Н.С., Тараканов А.К., Байрака М.Н. Опыт эксплуатации системы непрерывного измерения температуры чугуна на выпуске. *Металлург*. 1987. № 6. С. 22–23.
12. Металлургия чугуна: учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. / Под редакцией Ю.С. Юсфина. М.: ИКЦ «Академ-книга», 2004. 774 с.
13. Крячко Г.Ю. Движение кокса в фурменной зоне и горне доменной печи. *Теория и практика металлургии*. 2009. № 3 (70). С. 41–49.
14. Крячко Г.Ю., Лазебник Д.О., Сафина-Валуева Л.А., Мастеровенко Е.Л. Особенности нестационарности процесса в компактной доменной печи. *Зб. ДГТУ*. 2013. № 40. С. 7–13.
15. Овчинников Ю.Н., Мойкин В.Н., Спирин Н.А., Боковилов Б.А. Нестационарные процессы и повышение эффективности доменной плавки. Челябинск: Металлургия. Челябинское отделение, 1989. 120 с.

Надійшла 28.11.2019

REFERENCES

1. Dukarsky, S.M. (1976). Thermometry of blast furnace products. Moscow: Metallurgiya, 120 p. [in Russian].
2. Starshinov, B.N., Lavrentiev, M.L., Belyaev, Yu.P., Sinitsky, V.D., Fomin, V.B. (1959). The movement of cast iron in the furnace of a blast furnace. *Bulletin TSNIIChM*, no. 24. pp. 1–5 [in Russian].
3. Volovik, G.A., Marder, B.F. (1974). The nature of the flow of pig iron and slag during the production period. *Metallurgy and coke chemistry*, iss. 38 "Metallurgy of cast iron", pp. 54–60 [in Russian].
4. Pyzhov, V.G. (1977). On the nature of the movement of coke in the furnace of a blast furnace. *Iron production*, iss. 3. Sverdlovsk: UPI, pp. 144–149 [in Russian].
5. Fedulov, Yu.V. (1988). Development and implementation of effective blast furnace technology: Doctor's thesis in the form of scientific report: 05.16.02. Ural Polytechnic Institute. Sverdlovsk, 45 p. [in Russian].
6. Sugiura, M., Otani, Y., Nakashima, M., Omoto, N. (2014). Continuous Temperature Measurement of Liquid Iron and Slag Tapped from a Blast Furnace. *SICE Journal of Control, Measurement and System Integration*. May 2014, vol. 7, no. 3. pp. 147–151.
7. Identification and quantification of floating clutter in the furnace of a blast furnace. *News of ferrous metallurgy abroad*, 2006, no. 5, pp. 17–22 [in Russian].
8. Druzhkov, V.G., Prokhorov, I.E. (2011). The choice of the mode of production of pig iron and slag from the hearth of blast furnaces in modern conditions. *Vestnik MSTU named after. G.I. Nosova*, no. 4, pp. 9–12 [in Russian].
9. Baraban, V.S., Maimur, B.N., Merkulov, V.V. (1982). Non-contact temperature measurement of cast iron at the blast furnace outlet. *Thematic Branch Collection "Experience in the operation of blast furnaces with a volume of 3000 m³ or more."* Moscow: Metallurgiya, pp. 113–117 [in Russian].
10. Yusfin, Yu.S., Alter, M.A., Litvinenko, Yu.A., Winkelman, T., Urbanovich, G.I., Goloshubov, A.I. (1984). Reasons for the heterogeneity of the chemical composition of cast iron during production. *Metallurg*, no. 5, pp. 17–19 [in Russian].

11. Leonov, O.I., Shidlovsky, A.A., Greenstein, N.S., Tarakanov, A.K., Bayraka, M.N. (1987). Operating experience of the continuous temperature measurement system of cast iron at the outlet. *Metallurg*, no. 6, pp. 22–23 [in Russian].
12. Yusfin, Yu.S. (Ed.) (2004). Iron metallurgy: Textbook for universities. 3rd edition, revised and updated. Moscow: IKC "Akademkniga", 774 p. [in Russian].
13. Kryachko, G.Yu. (2009). The movement of coke in the tuyere zone and the hearth of a blast furnace. *Theory and practice of metallurgy*, no. 3 (70), pp. 41–49 [in Russian].
14. Kryachko, G.Yu., Lazebnik, D.O., Safina-Valueva, L.A., Masterovenko, E.L. (2013). Features of non-stationary process in a compact blast furnace. *Zb. DGTU*, no. 40, pp. 7–13 [in Russian].
15. Ovchinnikov, Yu.N., Moikin, V.N., Spirin, N.A., Bokovikov, B.A. (1989). Non-stationary processes and improving the efficiency of blast furnace. Chelyabinsk: Metallurgiya. Chelyabinskoe otделение, 120 p. [in Russian].

Received 28.11.2019

Анотація

М.С. Кузнецов¹, газівник, e-mail: maks_kuznetsov82@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-6065-9929>

Г.Ю. Крячко², канд. техн. наук, доц., e-mail: krachkogennadij@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-8773-508X>

С.А. Стороженко², канд. техн. наук, доц., e-mail: storog69@ukr.net,
<https://orcid.org/0000-0001-8902-2967>

¹ПАО «Дніпровський металургійний комбінат» (Кам'янське, Україна)

²Дніпровський державний технічний університет (Кам'янське, Україна)

Про закономірності у зміні температури чавуну на випуску з доменної печі

Розглянуто закономірності зміни температури чавуну на випуску в процесі вдосконалення технології виплавки чавуну. Залежно від співвідношення витрат часу на накопичення продуктів плавки і випуск їх з доменних печей запропоновано класифікувати випуск на три основних види: періодичні з малорухомою коксовою насадкою, періодичні з рухомою коксовою насадкою і квазібезперервні, коли тривалість періоду накопичення розплавів істотно менше часу випуску. Наведено результати дослідження зміни температури чавуну в процесі випуску на доменних печах об'ємом 1500 і 1386 м³.

Технологія ведення печей відрізнялася прийнятими шлаковим режимом і наповненням горна перед випуском продуктів плавки. У період досліджень питома продуктивність доменних печей змінювалася в межах 50–55 т/м²-добу, а маса випуску – від 190 до 370 т. Температуру чавуну в процесі випуску вимірювали високотемпературним пірометром НТ-6898. Відстань від струменя металу до окуляра приладу 2,0–2,5 м. Тестування показань пірометра проводили одночасним виміром температури чавуну термopарою занурення ТПР 0290М. Відхилення показань термopари від показань пірометра знаходилися в межах 0,2–1,2 %.

У процесі дослідження на отриманих кривих зміни температури чавуну в темпі випуску виявлено характерні мінімуми, що відносяться до 0,5–0,67 часу нормалізованої шкали випусків. Відзначено, що отримані дані збігаються з результатами інших досліджень, проведених на печах з «плаваючою» коксовою насадкою. Виходячи з розгляду балансу сил, що діють на коксову насадку, пояснено причини існування встановленої закономірності в зміні температури чавуну на випуску.

Показано, що вимірювання температури чавуну в темпі випуску продуктів плавки дає не тільки інформацію про зміни в нагріві горна, але може бути використано як індикатор процесів, що відбуваються в коксовій насадці.

Ключові слова

Закономірність, зміна, температура, чавун, накопичення, випуск, доменна піч, коксова насадка.

Summary

M.S. Kuznetsov¹, Gasman, e-mail: maks_kuznetsov82@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6065-9929>

G.Yu. Kryachko², PhD (Engin.), Associate Professor, e-mail: krachkogennadij@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8773-508X>

S.A. Storozhenko², PhD (Engin.), Associate Professor, e-mail: storog69@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-8902-2967>

¹*PJSC Dneprovsky Metallurgical Plant (Kamyanskoe, Ukraine)*

²*Dneprovsk State Technical University (Kamyanskoe, Ukraine)*

The regularities in the temperature change of cast iron by blast furnace outlet

The regularities of changes in the temperature of cast iron at the outlet in the process of improving the technology of melting cast iron are considered. Depending on the ratio of time spent on the accumulation of melting products and their release from blast furnaces, it is proposed to classify the output into three main types: periodic with a not mobile coke nozzle, periodic with a movable coke nozzle and quasi-continuous, when the duration of the accumulation of melts is significantly less than the time of release. The results of the study of changes in the temperature of cast iron in the process of production on blast furnaces with a volume of 1500 and 1386 m³ are presented.

The technology of furnace operation was recognized by the adopted slag mode and the furnace hearth before the output of melting products. In the research period, the productivity of blast furnaces varied between 50–55 t/m²·24 h, and the maximum output was 190 to 370 t. The temperature of the cast iron in the process of outlet was measured with high temperature pyrometer NT-6898. The metal distance to the eyepiece is of 2.0–2.5 m. The pyrometer test was carried out with a simultaneous measuring of temperature and the thermocouple plunging TPR 0290M. Declinations of the readings of thermocouples from the readings of a pyrometer were in the range of 0.2–1.2 %.

In the process of research the characteristic minimum in a received cast iron temperature changes curve were found, in the period of 0.5–0.67 hours of the normalized release scale. It was determined that the received results are coincided with the results of previous researches, carried out on furnaces with a “floating” coke nozzle. According to the balance of forces, which act on the coke oven nozzle, the reasons of the determined regularities temperature charges in the cast iron release were explained.

It is shown that measuring the temperature of cast iron at the rate of production of melting products gives not only information about changes in the heating of the hearth, but also can be used as an indicator of the processes occurring in the coke nozzle.

Keywords

Regularity, change, temperature, cast iron, accumulation, exhaust, blast furnace, coke nozzle.