

УДК 669.162.2

Искаков И.Ф., Куницын Г.А., Сибатуллин С.К., Харченко А.С., Сибатуллина М.И., Макарова И.В.

ОСОБЕННОСТИ НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ АО «УРАЛЬСКАЯ СТАЛЬ»

***Аннотация.** Для условий работы доменных печей АО «Уральская сталь» исследовали особенности теплового состояния при неустойчивом ходе процессов. Непосредственными причинами были колебания качества шихты, регулирование температуры и состава дутья, а также распределения материалов и газов по сечению печи, на что накладывалось влияние изменений движения материалов в воронках схода и ниже уровня фурм. При изменении качества и распределения шихты средняя продолжительность переходного периода была равна времени, в течении которого шихта в зоне потока менялась 2–3 раза. При изменении параметров дутья время переходного состояния было меньше на время смены шихты в зоне потока. Изменения силового взаимодействия потоков шихты и газа и хода процессов восстановления отражались на тепловом состоянии горна со сдвигом во времени, равном в среднем времени пребывания материалов в зоне с практически полным использованием тепла. Эта зона составляет $\frac{2}{3}$ – $\frac{3}{4}$ зоны потока материалов. Прогноз быстрых отклонений теплового состояния исключает влияние систематических ошибок в контроле состава проплавленных материалов.*

***Ключевые слова:** доменная печь, чугун, шлак, тепловое состояние, неустойчивый ход процессов, переходный период.*

Неотъемлемой частью работы доменных печей является регулирование технологии производства чугуна посредством изменения параметров загрузки [1–7] и дутья [8–13]. В частности, для различных материалов разрабатывают рациональные режимы их загрузки, обеспечивающие приближение к равномерному распределению их по окружности и рациональному по радиусу [1, 2, 5, 7]. Устанавливают рациональный химический состав жидких продуктов плавки для обеспечения соответствия требованиям сталеплавильного производства, стабильного их дренажа через слой коксовой насадки [3, 4, 14], формирования гарнисажа в горне печи [15–20]. Обеспечивают повышение содержания кислорода в дутье до оптимальных величин [21–23], рост температуры дутья [24] и подогрев природного газа [25]. Перераспределяют природный газ и дутье по группам доменных печей для повышения экономичности плавки [26]. Корректировка режимов работы печей сопровождается появлением переходных процессов [24–30]. Неустойчивый их ход, отражаясь на силовом взаимодействии потоков шихты и газа, проявляется через неровный сход шихты и изменение теплового состояния [31]. Непосредственными причинами могут быть: колебания качества шихты, несвоевременное и количественно неверное регулирование температуры и состава дутья, а также распределения материалов и газов по сечению печи, на что накладывалось влияние изменения движения материалов в воронках схода и ниже уровня фурм.

Для эффективного управления ходом доменной плавки целесообразно исследовать неустойчивые процессы в печи, вызванные изменением режимов загрузки или дутьевых параметров. В связи с этим исследовали особенности неустойчивого теплового состояния доменных печей АО «Уральская сталь».

В свойствах шихты наиболее существенное значение имели колебания содержания мелочи в агломерате. Изменения содержания железа в железорудном сырье АО «Уральская Сталь» вызывают меньшие колебания силового взаимодействия потоков и теплового состояния, так как экономия кокса (до 1–1,7 % на 1% Fe) при повышении богатства мало отличается от роста выхода чугуна (1,6–2,0 % на 1% Fe). Текущие отклонения богатства подготовленного железорудного сырья сопровождаются более значительными колебаниями расхода кокса (до 4–5 %), так как более богатое сырье обрабатывается газовым потоком с большим количеством и меньшей степенью использования газов-восстановителей. Уменьшали и устраняли такое влияние изменения богатства на сход шихты и тепловое состояние упреждающим регулированием его, руководствуясь фактическим влиянием богатства на расход кокса в данных условиях. Для этого с повышением или понижением содержания железа (изменением богатства) рудную или коксовую колошу изменяли в соответствии со средним влиянием богатства, установленным на основе обработки полученных ранее производственных данных. Таким образом, решение вопросов текущего регулирования целесообразно сочетать со статистической обработкой технологических данных, в частности с установлением влияния богатства шихты на ход и результаты доменного процесса.

По результатам анализа работы доменных печей АО «Уральская Сталь» колебания силового взаимодействия потоков шихты и газа, содержания кремния в чугуне и влажности дутья, являющихся характеристиками теплового состояния, получались существенно большими, чем можно было бы ожидать от непосредственного влияния изменений в свойствах шихты. Но в то же время величина этих колебаний меньше тех значений, которые следуют из изменения соотношения интенсивностей движения шихты и газа. Максимальным отклонением содержания мелочи в шихте, равным 1,5–2%, соответствует изменение со-

держания кремния в чугунах на 0,1–0,16%. Однако по анализам максимальная амплитуда колебаний содержания кремния в чугунах получается больше и составляет 0,3–0,5%. Это превышение вызывается тем, что влияние колебания состава шихты на нагрев печи усиливается временными отклонениями соотношения интенсивностей движения потоков материалов и газов. Максимальным значением амплитуды колебаний этого соотношения 15–20% при установившемся ходе процессов соответствует разница в содержании кремния, равная 1–1,6%. Фактическое колебание содержания кремния значительно меньше в связи с инерционностью процесса. Таким образом, отклонения соотношения интенсивностей движения потоков шихты и газа усиливали колебания силового взаимодействия и теплового состояния, вызываемых непостоянством качества шихты, а инерционность процесса уменьшала эти колебания. В связи с этим выявление изменений в интенсивности движения потоков шихты и газа путем учета и контроля количества подаваемого в печь дутья, выходящего колошникового газа, загружаемых материалов и получающихся продуктов плавки является основой повышения ровности схода шихты, точности прогнозирования изменения состава чугуна, теплового состояния печи.

Силовое взаимодействие и тепловое состояние, выражающееся через температурное поле печи, изменялись вследствие отклонений хода процессов. После этого они сами создавали условия для дополнительных отклонений этих процессов. Во время разогрева печи повышалась температура во всей печи, изотермы перемещались вверх, что обуславливало приближение вертикального давления шихты к предельной величине, временное повышение интенсивности восстановления, плавления, степени взаимодействия CO_2 с углеродом кокса. Влияние нагрева на ход процессов обуславливало возможность обратной связи изменений показателей хода процессов восстановления с показателями нагрева печи. Например, наблюдалось уменьшение степени косвенного восстановления при росте содержания кремния в чугунах. Основные изменения хода процессов при этом происходили в нижней половине (по объему) зоны потока материалов. Поэтому сдвиг во времени отклонений показателей теплового состояния и хода процессов восстановления в среднем составлял 2–3 часа. Изменения хода процесса с обратной связью показателей восстановления и теплообмена возникали вследствие некомпенсированных изменений содержания мелочи в шихте, неучтенных колебаний количества и состава железорудного сырья.

Прямая связь рассматриваемых показателей имела место при изменении восстановимости, контакта между твердыми и газообразными компонентами, распределения потоков шихты и газа при допустимых значениях силового взаимодействия потоков шихты и газов и характеризовалась разогревом печи с ростом

степени косвенного восстановления и степени использования химической энергии газа. При прямой связи изменение теплового состояния являлось функцией использования энергии газов в процессах восстановления, при обратной – наоборот, использование энергии газа менялось вследствие изменения температур и состояния шихты. Активное регулирование по данным о свойствах компонентов шихты и параметрам дутья уменьшало число случаев обратной связи и повышало надёжность алгоритмов, учитывающих только прямую связь.

Наличие прямой и обратной связи изменений показателей хода процессов создавала необходимость расшифровки причин отклонений контролируемых параметров колошникового газа, в том числе его состава. Эту необходимость не удавалось исключить заменой общих тепловых балансов зональными.

На печах АО «Уральская Сталь» средняя продолжительность неустановившегося хода процессов, то есть переходного состояния, при изменении качества и распределения шихты была равна времени, в течение которого шихта в зоне потока менялась 2–3 раза. Такой срок обусловлен тем, что во время первой смены параметры фурменного газа соответствовали ранее имевшимся условиям, а к концу второй смены они приближались к значениям их для установившегося хода процессов на новой шихте.

При изменении параметров дутья время переходного состояния было меньше на время смены шихты в зоне потока. Изменения силового взаимодействия потоков шихты и газа и хода процессов восстановления отражались на тепловом состоянии горна со сдвигом во времени, равном в среднем времени пребывания материалов в зоне с практически полным использованием тепла. Эта зона составляет $\frac{2}{3}$ – $\frac{3}{4}$ зоны потока материалов.

При средней продолжительности неустановившегося хода 8–12 часов длительность периодов работы доменных печей с постоянной тенденцией нагрева, то есть полупериодов колебания состава (температуры) чугуна, в доменных печах АО «Уральская Сталь» составляет 8–25 часов. За такое время возможно наложение особенностей одного неустановившегося хода на особенности другого, что усложняет расшифровку причин изменения состава газа. Усложнение происходит и вследствие отсутствия монотонности изменения состава газа после изменения качества шихты. На рис. 1 показано для примера изменение состава газа после уменьшения температуры агломерата по опыту ПАО «ММК».

Содержание CO_2 , например, существенно снижалось в первые 4 часа, затем повышалось в течение 3 часов и вновь снижалось в последующие 5 часов. В дальнейшем вновь появлялась тенденция роста CO_2 , то есть содержание CO_2 снижалось по кривой с затухающими колебаниями.

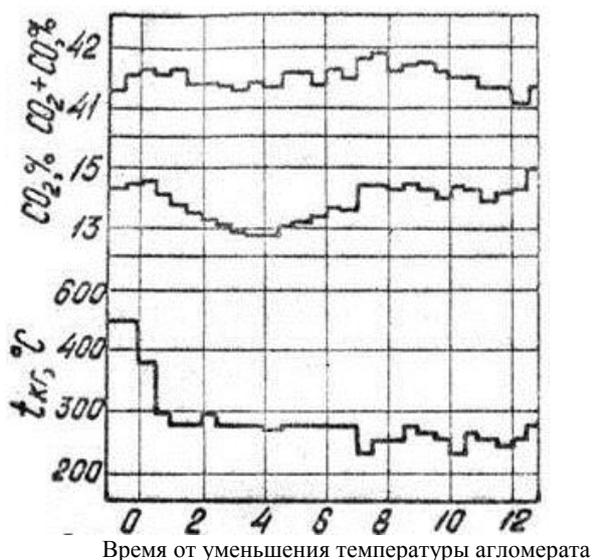


Рис.1. Изменение температуры (t_{kr}) и состава ($CO_2, CO + CO_2$) колошникового газа при уменьшении температуры агломерата

Длительность неустановившегося силового взаимодействия потоков шихты и газа, хода процессов тепло- и массообмена в доменной печи существенно рассеивается во времени – на время до 3–4 смен материалов в зоне потока. Это обусловлено инерционностью процесса и отклонениями от установившегося движения кокса в нижней части печи, сопровождающимися изменениями теплового состояния.

Наблюдается обратная связь отклонений содержания кремния в чугуна с выходом чугуна за выпуск. Фактическое отклонение выхода чугуна обычно превышает его величину, вычисленную по изменениям количества загруженных подач. В исследованиях в АО «Уральская Сталь» отклонения содержания кремния в чугуна, равные 0,3% и более, сопровождались изменением выхода чугуна на 1 т загруженного кокса в среднем на 16,6%. Отклонения выхода чугуна получаются в текущем или в предшествующем выпуске и это усиливает тенденцию изменения нагрева печи. Так, при снижении нагрева печи выход чугуна увеличивается за счет удаления некоторого количества кокса из нижней части зоны потока за ее пределы, роста вертикального давления шихты, сопровождающегося увеличением глубины погружения кокса в чугуна. Фактическая рудная нагрузка на фурмах при этом становится больше, что усиливает тенденцию к похолоданию. Повышение нагрева сопровождается противоположными изменениями.

Выход чугуна существенно отклоняется в одном направлении обычно лишь для одного выпуска, поэтому при прогнозировании состава чугуна следующего выпуска можно исходить из малой вероятности существенного отклонения выхода, имевшегося в предшествующем выпуске. Полезно сопоставление фактического и расчетного выхода для прогноза состава чугуна, так как фактический выход чугуна

обычно отклоняется в том же направлении, что и расчетный, но в большей степени.

Рассеивание во времени длительности переходного периода и наложение особенностей разных тенденций делают необходимым уточнение влияний переходных процессов в схемах регулирования. Так как вывод и ввод кокса в нижнюю часть зон потока изменяет параметры фурменного газа и влияет на скорость схода шихты, то длительность переходного состояния может быть уточнена по другим, обычно контролируемым технологическим параметрам: температуре колошникового газа, частоте забора подач, поступлению дутья и выходу газа.

Замеряемые количества дутья и газа дают возможность вычислить показатели прямого восстановления без использования данных о составе колошникового газа. Расход дутья и выход газа совместно с данными о количестве загруженных материалов позволяют судить об отклонениях теплового баланса. Существенным отклонениям содержания кремния в чугуна в АО «Уральская Сталь» соответствовало аналогичное, с некоторым опережением, изменение расхода дутья на единицу загружаемой шихты (рис. 2).

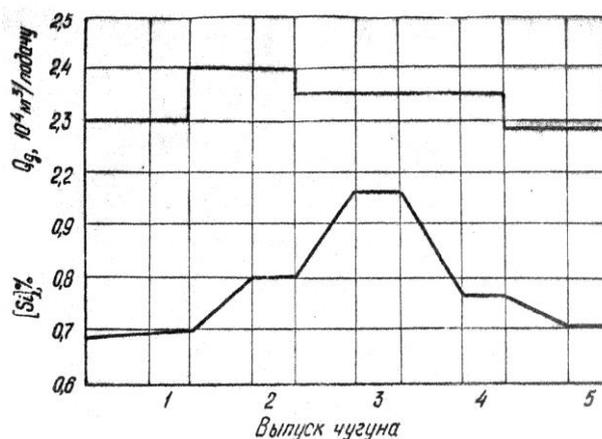


Рис. 2. Характер изменения расхода дутья на одну подачу (Q_g) и содержание кремния в чугуна

Обработка данных по доменным печам АО «Уральская Сталь» показывает, что замеры расхода горячего дутья и выхода колошникового газа позволяют иметь информацию, дублирующую состав колошникового газа, то есть повысить надежность информации, получение которой обычно вызывает наибольшие трудности. Кроме этого, используя эти данные совместно с данными о количестве загруженных материалов, можно судить о причинах изменения силового взаимодействия потоков шихты и газа, отклонений теплового баланса отдельных зон печи, в частности зон с полным (выше 800–900 $^\circ C$) и частичным (ниже 800–900 $^\circ C$) использованием тепла газового потока.

Рассматриваемые отклонения теплового баланса в АО «Уральская Сталь» связаны с использованием энергии газа, проходящегося на единицу проплавления

мой шихты. Поэтому изменение теплового баланса нижней ступени теплообмена сопровождается аналогичным изменением теплового баланса верхней. Показатели теплообмена в них находятся в соответствии друг с другом, например, температура (состав) чугуна с температурой колошникового газа. При установившейся работе доменных печей связь этих показателей малозаметна, а во время резких колебаний теплового состояния – существенна.

Температура колошникового газа соответствует избытку тепла в верхней ступени теплообмена и разности температур шихты и газа на границе верхней зоны с зоной замедленного теплообмена. Эта разность температур на границе зон заметно увеличивается с приближением вертикального давления шихты к предельной величине при росте степени неравномерности распределения шихты и газа по сечению печи, сопровождаемая образованием каналов.

Из вышеизложенного видна роль температуры колошникового газа при прогнозировании колебаний в ходе шихты и теплового состояния, обусловленных временными отклонениями отношения интенсивностей потоков шихты и газа от установившихся величин в АО «Уральская Сталь». Важными являются также общий и частные перепады давления газа в печи, интенсивность излучения из фурменных очагов.

Прогноз быстрых отклонений теплового состояния по указанному комплексу исключает влияние систематических ошибок в контроле состава проплавляемых материалов. Для расчетов пригодны имеющиеся замеры расходов холодного дутья и выхода газов после его очистки. Более точные результаты расчетов могут быть получены путём выполнения замера расхода в воздухопроводе горячего дутья, а выхода газа – непосредственно после печи (в газоотводах). Приемлемо использование результатов замера расхода воздуха по фурмам. При отсутствии регулирования его пригодны данные, полученные по части фурм (не менее 1/2), так как распределение воздуха по фурмам относительно устойчиво.

Для переходных состояний доменного процесса температура (интенсивность излучения) фурменных очагов может находиться в прямой связи с нагревом горна (температурой и составом чугуна), так как на температуру очагов влияют температура и количество кокса, сходящего в очаги, температура чугуна, температура и состав шлака. Установившаяся работа с различным нагревом может не отличаться температурой фурменных очагов или отличаться незначительно.

Излучения из фурменных очагов подвержены частым и значительным колебаниям, однако многие колебания и общая тенденция изменения обычно совпадают для различных фурм (рис. 3). Изменения интенсивности излучения на двух фурменных очагах оказались качественно аналогичными в течение 89 % времени. Такое высокое совпадение обусловлено тем,

что между отдельными фурменными очагами существует технологическая и газодинамическая связь.

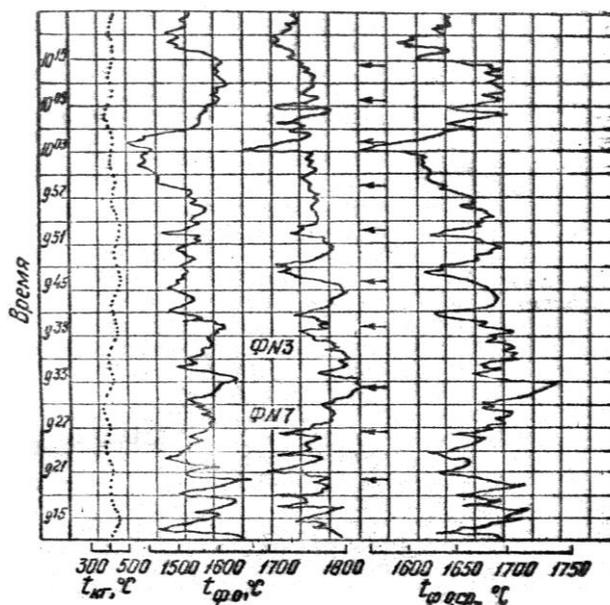


Рис. 3. Температура отдельных фурменных очагов $t_{фo}$, средняя для двух очагов $t_{фo,ср}$ и средняя температура колошникового газа $t_{кг}$

Поэтому для контроля теплового состояния доменной печи может оказаться достаточным замер температуры в 1/4–1/2 общего количества очагов.

Между содержанием кремния в чугуне и средней между выпусками температурой фурменных очагов установлены связи двух видов. Связи первого вида заключаются в том, что состав чугуна и температура фурменных очагов существенно колеблются около средних значений (рис. 4), находясь в соответствии между собой. При связях второго вида (рис. 5) температура фурменных очагов колеблется в узком интервале вблизи средних значений, не переходя их. Состав чугуна при этом изменяется в соответствии с соотношением текущей и средней температур очагов. Это значит, что при снижении текущего значения температуры очага чугун становится холоднее и наоборот.

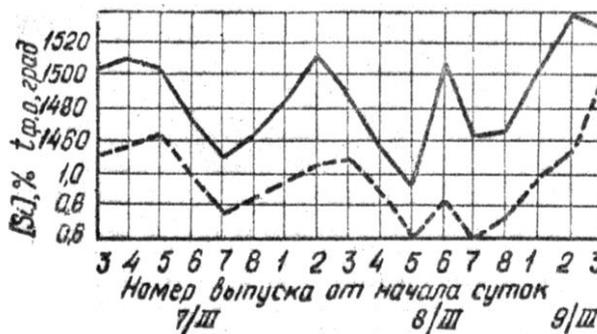


Рис. 4. Первый вид связи температуры фурменных очагов и содержания кремния в чугуне

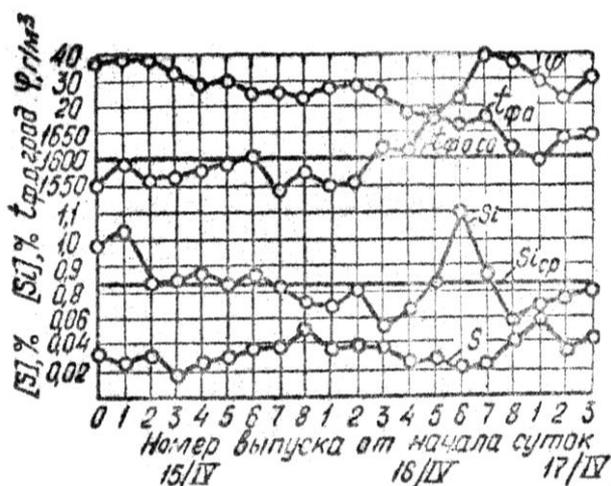


Рис. 5. Второй вид связи температуры фурменных очагов и содержания кремния в чугуне (Ф_д – влажность дутья)

Установленная связь указывает на возможность регулирования теплового состояния по температуре фурменных очагов. По температуре очагов регулирующие воздействия могут быть предприняты раньше, чем обычно, использование ее обеспечивает более своевременное регулирование теплового состояния. В течение 93 % времени желательные по температуре очагов воздействия были целесообразны по условиям движения шихты и газов. В 88,6 % случаев повышение общего перепада давления газа было связано с ростом температуры фурменных очагов.

Изменение влажности дутья вызывает затухающее колебание температуры фурменных очагов со снижением ее среднего уровня (рис. 6).

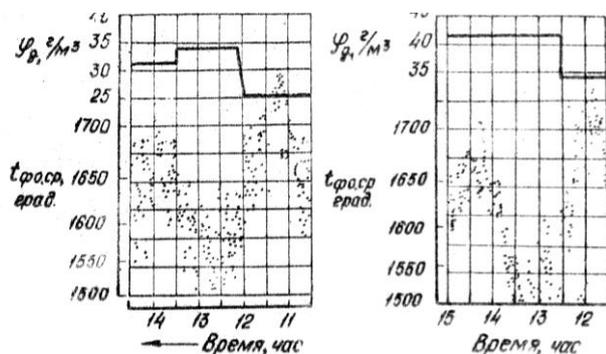


Рис. 6. Снижение температуры фурменных очагов при повышении влажности дутья

В первые 5–10 мин после повышения влажности температура очага интенсивно снижалась, затем имелся резкий скачок вверх, после которого продолжалось снижение температуры. Через 20–30 мин температура очага почти восстанавливалась, после чего вновь снижалась. Колебательное изменение температуры очага обусловлено газодинамическими особенностями фурменного очага и изменением хода про-

цессов теплообмена и восстановления. В среднем повышение влажности дутья на 1 г/м³ уменьшало температуру фурменных очагов на 9–16 град чрез 10–15 мин (средняя величина 12,3 град) и на 3,1–4,6 град (средняя величина 3,9 град) чрез 2–76 часов.

Заключение

Для условий работы доменных печей АО «Уральская сталь» исследовали особенности неустановившегося теплового состояния. При изменении качества и распределения шихты средняя продолжительность переходного периода была равна времени, в течении которого шихта в зоне потока менялась 2–3 раза.

При изменении параметров дутья время переходного состояния было меньше на время смены шихты в зоне потока. Изменения силового взаимодействия потоков шихты и газа и хода процессов восстановления отражались на тепловом состоянии горна со сдвигом во времени, равном в среднем времени пребывания материалов в зоне с практически полным использованием тепла. Эта зона составляет 2/3–3/4 зоны потока материалов.

Прогноз быстрых отклонений теплового состояния исключает влияние систематических ошибок в контроле состава проплавляемых материалов.

Список литературы

1. Зависимость равномерности поступления агломерата и окатышей в колошниковое пространство печи от последовательности размещения их в бункере БЗУ / Сибатуллин С.К., Теплых Е.О., Харченко А.С., Махмутов Р.Ф., Семенюк М.А., Бегинюк В.А. // Теория и технология металлургического производства. 2012. № 12. С. 16-21.
2. Харченко А.С. Закономерности поступления компонентов шихты по крупности из бункера БЗУ в колошниковое пространство печи в зависимости от условий загрузки // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2018. Т. 16. № 3. С. 46-56.
3. Промывка горна доменной печи кремнезёмомарганцовистой рудой ниязгуловского месторождения / Бигеев В.А., Сибатуллин С.К., Харченко А.С., Панишев Н.В., Потапова М.В., Лунев У.Д. // Теория и технология металлургического производства. 2018. № 3 (26). С. 12-16.
4. Технологические параметры доменной плавки при локальной промывке горна кремнезёмомарганцовистым материалом / Сибатуллин С.К., Харченко А.С., Малиханов Ю.С., Игликова У.Ж., Семенюк М.А., Бегинюк В.А. // Теория и технология металлургического производства. 2020. № 2 (33). С. 11-17.

5. Большаков В.И. Направления исследований и научных разработок института черной металлургии НАН Украины // Металлург. 2011. № 1. С. 11-13.
6. Вайсберг Л.А., Коровников А.Н., Подгородецкий Г.С. Совершенствование систем шихтоподготовки в доменном производстве // Черные металлы. 2017. № 8. С. 24-27.
7. Работа доменных печей ОАО «ММК» с высокой долей окатышей в шихте. Часть 1 / А.В. Павлов, О.П. Онорин, Н.А. Спириин, А.А. Полинов // Металлург. 2016. № 6. С. 36-42.
8. Совершенствование доменного процесса за счет создания условий для увеличения потребления природного газа применением сырья повышенной прочности / Сибатуллин С.К., Харченко А.С., Чернов В.П., Бегинюк В.А. // Черные металлы. 2017. № 8. С. 27-33.
9. Совершенствование хода доменного процесса повышением расхода природного газа по газодинамике в верхней ступени теплообмена / С.К. Сибатуллин, А.С. Харченко, В.А. Бегинюк, В.Н. Селиванов, В.П. Чернов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2017. № 1. С. 37-44.
10. Улучшение работы доменной печи кратковременным уменьшением расхода природного газа / Сибатуллин С.К., Харченко А.С., Харченко Е.О., Сибатуллина М.И., Миникаев С.Р., Бегинюк В.А. // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2017. № 2 (1406). С. 16-20.
11. Стабилизация соотношения расходов природного газа и дутья по фурмам доменной печи / С.К. Сибатуллин, А.С. Харченко, А.А. Полинов А.А. и др. // Теория и технология металлургического производства. 2014. № 1 (14). С. 23-25.
12. Распределение дутья по воздушным фурмам доменной печи / Полинов А.А., Павлов А.В., Онорин О.П., Спириин Н.А., Гуриин И.А. // Металлург. 2018. № 5. С. 23-27.
13. Совершенствование режимов загрузки и дутья на доменных печах ПАО МК «Азовсталь» / Д.А. Тонких, С.А. Кариков, А.К. Тараканов и др. // Металлург. 2013. № 9. С. 42-48.
14. Исследование влияния ввода железомagneзиальной руды в агломерационную шихту на показатели доменной плавки / Сибатуллин С.К., Харченко А.С., Миникаев С.Р., Игликова У.Ж., Полинов А.А., Гушин Д.Н. // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2020. Т. 76. № 9. С. 910-920.
15. Структура карбонитридного гарнисажа, образующегося в горне и лещади доменной печи / В.А. Гостенин, А.Л. Мавров, В.П. Гридасов, С.К. Сибатуллин // Сталь. 2007. № 2. С. 29–30.
16. Качула Б.В., Кобелев В.А. Особенности металлургических свойств титаномагнетитового железорудного сырья и их влияние на процесс доменной плавки // Проблемы комплексной переработки титаномагнетитов Южного Урала. Магнитогорск: Магнитогорский дом печати. 2001. С. 57–62.
17. Изучение металлургических свойств титаномагнетитового сырья / Г.Ю. Витькина, А.Н. Дмитриев, Р.В. Петухов, Ю.А. Чесноков // Черная металлургия. 2015. № 12 (1392). С. 26-30.
18. Сравнительный технологический анализ систем контроля разгара огнеупорной футеровки горна доменной печи / А.Н. Дмитриев, М.О. Золотых, К. Чэнь, Г. Ю. Витькина // Черная металлургия. 2018. № 8 (1424). С. 82-92.
19. Исследование гарнисажа и футеровки в горне доменной печи № 2 АО «ЕВРАЗ ЗСМК» (сообщение 2) / А.М. Коверзин, В.Г. Щипицын, А.В. Ващенко, А.С. Близнюков, М.Р. Садрадинов, А.Р. Макавецкас, Ю.А. Фищенко // Черная металлургия. 2018. № 9 (1425). С. 9-25.
20. Исследование состава гарнисажа в горне доменной печи Косогорского металлургического завода, выплавляющей ферромарганец с использованием шунгита (сообщение 1) / И.Э. Шепетовский, А.Г. Шалыгин, М.Р. Садрадинов, Р.И. Нуриев, А.С. Близнюков, А.Р. Макавецкас, Ю.Ю. Фищенко // Черная металлургия. 2019. № 4. Т. 75. С. 432-448.
21. Лялюк В.П., Товаровский И.Г. Выбор режимов доменной плавки на комбинированном дутье с оценкой параметров фурменных зон // Черные металлы. 2003. № 11. С. 13-16.
22. Анализ процессов доменной плавки при обогащении дутья кислородом / И.Г. Товаровский, В.П. Лялюк, А.Е. Меркулов и др. // Бюллетень. Черная металлургия. 2011. № 5. С. 20-33.
23. Интенсификация работы доменных печей подбором оптимального соотношения расходов природного газа и кислорода / В.А. Гостенин, С.Н. Пишнограев, А.В. Чевычелов и др. // Сталь. № 2. 2012. С. 7-11.
24. Товаровский И.Г., Меркулов А.Е. Анализ процессов доменной плавки при варьировании температуры дутья в широком диапазоне // Бюллетень. Черная металлургия. 2011. № 4. С. 36-49.
25. Повышение эффективности доменной плавки с вдуванием природного газа за счет его подогрева / С.А. Фещенко, В.И. Плешков, Б.Н. Лизунов и др. // Металлург. № 11. 2007. С. 44-48.
26. Оптимизация распределения природного газа в доменном цехе при изменении параметров плавки / Н.А. Спириин, Л.Ю. Гилева, В.В. Лавров и др. // Бюллетень. Черная металлургия. 2014. № 6. С. 45.
27. Исследование переходных процессов в доменной печи на основе анализа схемы теплообмена / Спи-

- рин Н.А., Онорин О.П., Истомина А.С., Гурин И.А. // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2020. Т. 76. № 2. С. 132-139.
28. Особенности переходных процессов доменной плавки / Онорин О.П., Спиринов Н.А., Истомина А.С., Лавров В.В., Павлов А.В. // Металлург. 2017. № 2. С. 47-51.
29. Нестационарный теплообмен в зоне расплава и особенности переходных процессов в доменной печи / Ярошенко Ю.Г., Швыдкий В.С., Спиринов Н.А., Лавров В.В., Носков В.Ю. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2015. Т. 58. № 9. С. 672-676.
30. Анализ переходных процессов теплообмена в движущемся слое / Спиринов Н.А., Овчинников Ю.Н., Попов Г.Г. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1988. № 2. С. 128-132.
31. Сибатуллин С.К. Выявление и реализация скрытых резервов энерго- и ресурсосбережения при выплавке чугуна в доменных печах: автореф. ... д-ра техн. наук. Магнитогорск, 2005. 36 с.

Сведения об авторах

Искаков Ильдар Фаритович – управляющий директор АО «Уральская Сталь», Новотроицк, Россия. E-mail: i.iskakov@uralsteel.com.

Куницын Глеб Александрович – д-р техн. наук, технический директор АО «Уральская Сталь», Новотроицк, Россия. E-mail: g.kunitsyn@metalloinvest.com.

Сибатуллин Салават Камилевич – д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры металлургии и химических технологий, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: 10tks@mail.ru.

Харченко Александр Сергеевич – д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой металлургии и химических технологий ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: as.mgtu@mail.ru.

Сибатуллина Маргарита Ильдаровна – аспирант кафедры металлургии и химических технологий, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия.

Макарова Ирина Владимировна – канд. техн. наук, доцент кафедры металлургии и химических технологий, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: m.irina1976@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

PECULIARITIES OF UNSECURED HEAT STATE OF BLAST FURNACES OF JSC "URAL STEEL"

Iskakov Idar F. – Managing Director of JSC “Ural Steel”, Novotroitsk, Russia. E-mail: i.iskakov@uralsteel.com.

Kunitsyn Gleb A. – Dr. Sci., Technical Director of JSC “Ural Steel”, Novotroitsk, Russia. E-mail: g.kunitsyn@metalloinvest.com.

Sibatullin Salavat K. – Dr. Sci., Associate Professor, Professor of the Department of Metallurgy and Chemical Technologies, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: 10tks@mail.ru.

Kharchenko Alexander S. – Dr. Sci., Associate Professor, Head of the Department of Metallurgy and Chemical Technologies, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: as.mgtu@mail.ru.

Sibatullina Margarita I. – postgraduate student of the Department of Metallurgy and Chemical Technologies, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Makarova Irina V. – Cand. tech. Sci., Associate Professor, Department of Metallurgy and Chemical Technologies, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: m.irina1976@mail.ru.

Abstract. For the operating conditions of blast furnaces of JSC "Ural Steel", features of the thermal state in the course of unsteady processes were investigated. The immediate reasons were fluctuations in the quality of the charge, regulation of the temperature and composition of the blast, as well as the distribution of materials and gases over the cross section of the furnace, which is superimposed on the influence of changes in the movement of materials in the descent funnels and below the tuyere level. With a change in the quality and distribution of the charge, the average duration of the transition period was equal to the time during which the charge in the flow zone changed 2 - 3 times. When the blast parameters were changed, the time of the transition state was less by the time of changing the charge in the flow zone. Changes in the force interaction of the mixture sweat and gas and the course of the reduction processes were reflected in the thermal state of the hearth with a shift in time equal to the average residence time of materials in the zone with almost complete use of heat. This zone constitutes on $\frac{2}{3}$ of material flow zones. The forecast of rapid deviations of the thermal state excludes the influence of systematic errors in the control of the composition of the melted materials.

Key words: blast furnace, cast iron, slag, thermal state, unsteady course of processes, transition period.

Ссылка на статью:

Особенности неустановившегося теплового состояния доменных печей АО «Уральская Сталь» / И.Ф. Искаков, Г.А. Куницын, С.К. Сибатуллин, А.С. Харченко, М.И. Сибатуллина, И.В. Макарова // Теория и технология металлургического производства. 2021. №2(37). С. 11-18.
Iskakov I.F., Kunitsyn G.A., Sibagatullin S.K., Kharchenko A.S., Sibagatullina M.I., Makarova I.V. Peculiarities of unsecured heat state of blast furnaces of JSC "Ural Steel". *Teoria i tecnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2021, vol. 37, no. 2, pp. 11-18.