



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 180 923** ⁽¹³⁾ **C1**
(51) МПК⁷ **C 21 C 5/52**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

(21), (22) Заявка: 2001111565/02, 28.04.2001
(24) Дата начала действия патента: 28.04.2001
(46) Дата публикации: 27.03.2002
(56) Ссылки: RU № 2081818 C1, 20.06.1997. RU № 2101364 C1, 10.01.1998. RU № 2033432 C1, 20.04.1995. RU № 2075840 C1 20.03.1997. JP 61174312 06.08.1986. JP 2301509 13.12.1990. US 4052195 04.10.1977. WO 0100886 04.01.2001.
(98) Адрес для переписки:
141070, Московская обл., г. Королев, ул. Исаева, 1а, кв.47, Д.А.Пономаренко

(71) Заявитель:
Пономаренко Дмитрий Александрович (RU)
(72) Изобретатель: Пономаренко Д.А. (RU), Пономаренко Александр Георгиевич (UA), Храпко Сергей Александрович (UA), Синяков Руслан Валерьевич (UA), Старосоцкий Андрей Васильевич (MD), Иноземцева Нина Васильевна (UA)
(73) Патентообладатель:
Пономаренко Дмитрий Александрович (RU)

(54) СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПЛАВКИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЕЧИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области металлургии и может быть использовано для управления процессом плавки в электрической печи. Способ управления процессом плавки в электрической печи включает дозировку компонентов шихты, их загрузку в печь, регулирование теплового и электрического режимов плавки путем поддержания рабочей мощности печи перемещением электродов и/или переключением степеней напряжения печного трансформатора, определение контролируемых параметров плавки, выработку управляющих воздействий, получение заданных температуры и химического состава продуктов плавки путем использования управляющих воздействий, выпуск продуктов плавки из печи, при этом в качестве исходных параметров для выработки управляющих воздействий используют ввод шлакообразующих, восстановителей, энергоносителей и газов, а в качестве контролируемых параметров используют массу и химический состав компонентов образующихся металла и шлака и их

температуру, которые определяют в течение всего процесса плавки с периодичностью 5-12 с, при этом массу и химический состав определяют по параметру состояния системы, при вычислении которого независимыми единицами теплового движения металла и шлака считают атомы и электроны, при расчете конфигурационной его части учитывают энергетическую неэквивалентность перестановок этих единиц, а значения рабочей активности мощности, вид, количество и порядок ввода присадок по ходу плавки определяют постоянно путем расчета материального и теплового балансов при минимизации стоимости плавки, причем дополнительно контролируют продолжительность плавки с учетом времени простоя и/или несанкционированного изменения массы присадок и/или газов, а температуру определяют из баланса поступившей энергии и разности энтальпий присадок и продуктов плавки, причем энтальпию шлака вычисляют по расчетной формуле. 1 табл.

RU 2 180 923 C1

RU 2 180 923 C1



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 180 923** ⁽¹³⁾ **C1**
 (51) Int. Cl.⁷ **C 21 C 5/52**

RUSSIAN AGENCY
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 2001111565/02, 28.04.2001
 (24) Effective date for property rights: 28.04.2001
 (46) Date of publication: 27.03.2002
 (98) Mail address:
 141070, Moskovskaja obl., g. Korolev, ul.
 Isaeva, 1a, kv.47, D.A.Ponomarenko

(71) Applicant:
 Ponomarenko Dmitrij Aleksandrovich (RU)
 (72) Inventor: Ponomarenko D.A. (RU),
 Ponomarenko Aleksandr Georgievich
 (UA), Khrapko Sergej Aleksandrovich
 (UA), Sinjakov Ruslan Valer'evich
 (UA), Starosotskij Andrej Vasil'evich
 (MD), Inozemtseva Nina Vasil'evna (UA)
 (73) Proprietor:
 Ponomarenko Dmitrij Aleksandrovich (RU)

(54) **METHOD OF CONTROL OF MELTING PROCESS IN ELECTRIC FURNACE**

(57) Abstract:
 FIELD: metallurgy; methods of control of melting process in electric furnaces. SUBSTANCE: proposed method includes proportioning charge components, loading them in furnace, regulating thermal and electric modes of melting by maintaining working power of furnace through displacement of electrodes and/or changing-over of stages of voltage of furnace transformer, determination of parameters of melting process under control, generation of control actions, obtaining preset temperature and chemical composition of products of melting through use of control actions, tapping products of melting from furnace; used as initial parameters for generation of control actions is introduction of slag-forming and reducing agents, energy carriers and gases; mass and chemical composition of components of melts and slag, as well their temperature are used as parameters under control; these data are determined during entire melting period at

intervals of 5 to 12 s; mass and chemical composition are determined by parameter of state of system: atoms and electrons are considered to be independent units of thermal motion of metal and slag in calculating the parameter; in calculating its configuration part, energy nonequivalence of permutation of these units is taken into account; magnitudes of working activity of power, type, amount and procedure of introducing additives in the course of melting are determined continuously through calculation of material and thermal balance at minimum cost of melting; duration of melting is additionally checked taking into account idle time and/or unauthorized change in mass of additives and/or gases; temperature is found from balance of input energy and difference of enthalpies of additives and products of melting; enthalpy of slag is calculated by design formula. EFFECT: enhanced efficiency; low cost of melting. 1 tbl, 1 ex

RU 2 180 923 C1

RU 2 180 923 C1

Изобретение относится к области металлургии, в частности к выплавке стали в электрических дуговых печах, и может быть использовано для управления процессом плавки в электрической печи.

Известен способ управления плавкой в дуговой печи на базе математической модели, включающий использование информации о перемещении электродов и температуре стен, поступающих от специальных датчиков, использование математической модели в окислительный период плавки, в которую заложены уравнения, связывающие обезуглероживание металла и повышение температуры ванны в период продувки кислородом, а также расчет температуры стали на базе уравнений теплового и материального балансов, причем для периода рафинирования составлены уравнения, позволяющие рассчитать количество присаживаемых ферросплавов и требуемый расход электроэнергии в зависимости от количества кислорода, затраченного на продувку (Тэцу то хаганэ, 1988. - 74, 11, с.2122-2129).

Известный способ не обеспечивает высокой точности управления процессом плавки потому, что контролируемые параметры являются только обезуглероживание металла и изменение температуры ванны в период продувки кислородом, которые не учитывают химический состав металла, шлака, газа, что приводит к некорректности управления процессом плавки. При этом данные об изменении температуры по расходу кислорода являются косвенными и зависящими только от одного параметра, что также влияет на точность управления процессом плавки.

Наиболее близким к изобретению по технической сущности и достигаемому результату является способ управления процессом получения фосфора в электротермической печи, согласно которому анализ и дозировку компонентов шихты, регулирование электрического режима плавки путем поддержания заданного тока электрода и рабочей мощности печи перемещением электродов и/или переключением ступеней напряжения печного трансформатора, определение содержания пятиоксида фосфора в шлаке, усреднение фактической активной мощности печи и содержания пятиоксида фосфора в шлаке за заданный промежуток времени и сравнение полученных результатов с заданными, а по отклонению значения пятиоксида фосфора в шлаке от заданного значения корректируют количество восстановителя в шлаке, при этом заданное значение тока электрода определяют с учетом оптимального содержания пятиоксида фосфора в шлаке и заданной мощности печи, усреднение значений пятиоксида фосфора в шлаке осуществляют с учетом запаздывания влияния состава шихты на состав шлака, контролируют положение электрода в углеродистой зоне, а количество восстановителя в шихте корректируют по формуле:

$$\bar{\omega}_K = \bar{\omega}_{K3} + \Delta\bar{\omega}_K + \Delta\bar{\omega}_{сут} \quad (1)$$

где $\bar{\omega}_K$ - количество кокса, необходимое

для восстановления пятиоксида фосфора в шихте на 100 кг фосфорита, кг;

$\bar{\omega}_{K3}$ - первоначальная дозировка кокса в

шихте на 100 кг фосфорита, кг;

$\Delta\bar{\omega}_K$ - изменение дозировки кокса по

5 отклонению пятиоксида фосфора в шлаке от заданного, кг;

$\Delta\bar{\omega}_{сут}$ - суточная величина изменения

10 дозировки кокса по результатам анализа сырья, кг (патент России RU 2081818, кл. С 01 В 25/00, опубл. 06.20.97).

Признаки ближайшего аналога, совпадающие с существенными признаками заявляемого изобретения:

15 1) дозировка компонентов шихты и их загрузка в печь;

2) регулирование теплового и электрического режимов плавки путем поддержания рабочей мощности печи перемещением электродов и/или переключением ступеней напряжения печного трансформатора;

20 3) определение контролируемых параметров плавки;

4) выработка управляющих воздействий;

25 5) получение заданных температуры и химического состава продуктов плавки путем использования управляющих воздействий.

Известный способ не обеспечивает требуемой точности управления по следующим причинам:

30 1. Плавку согласно ближайшему аналогу ведут в соответствии с заранее созданным проектом плавки. Все корректировки процесса плавки осуществляют путем усреднения полученных данных о химическом анализе шлака, о фактических значениях P_2O_5 в шлаке, путем изменения электрического режима плавки и расходов фосфорита и восстановителя, приближая их значения к заданным в проекте плавки. При этом неизбежно снижается точность управления процессом плавки и повышается цена готовой продукции потому, что любые изменения в процессе плавки повышают стоимость готовой продукции, а происходящие в дальнейшем исправления режима не способствуют снижению стоимости.

35 2. Вычисленный в известном способе один из основополагающих критериев - контролируемый параметр - оптимальное содержание P_2O_5 в шлаке является величиной фиксированной для конкретной плавки, а следовательно, не зависящей от фактических изменений, происходящих в печи во время плавки, что приводит к снижению точности управления процессом плавки и повышению стоимости готовой продукции.

40 3. Фиксированное значение запаздывания влияния состава шихты на состав шлака является грубым приближением к фактическим значениям, что приводит к снижению точности управления процессом плавки и повышению стоимости готовой продукции.

45 4. Данные о химическом составе реального шлака по содержанию в нем P_2O_5 не могут быть корректными потому, что к моменту отбора проб шлак гетерогенный, что также приводит к снижению точности процесса управления плавкой и повышению стоимости готовой продукции.

В основу изобретения поставлена задача

усовершенствования способа управления процессом плавки в электрической печи, в котором за счет определенных технологических параметров и повышения оперативности выработки управляющих воздействий на исполнительные механизмы обеспечивают оптимизацию процесса, что позволяет повысить точность управления и снизить стоимость готовой продукции.

Технический результат достигается тем, что управление процессом плавки в электрической печи, предусматривающим дозировку компонентов шихты, их загрузку в печь, регулирование теплового и электрического режимов плавки путем поддержания рабочей мощности печи перемещением электродов и/или переключением ступеней напряжения печного трансформатора, определение контролируемых параметров плавки, выработку управляющих воздействий, получение заданных температуры и химического состава продуктов плавки путем использования управляющих воздействий, выпуск продуктов плавки из печи, по изобретению в качестве исходных параметров для выработки управляющих воздействий используют ввод шлакообразующих, восстановителей, энергоносителей и газов, а в качестве контролируемых параметров используют массу и химический состав компонентов образующихся металла и шлака и их температуру, которые определяют в течение всего процесса плавки с периодичностью 5-12 с, при этом массу и химический состав определяют по параметру состояния системы, при вычислении которого независимыми единицами теплового движения металла и шлака считают атомы и электроны и учитывают энергетическую неэквивалентность перестановок этих единиц, при расчете конфигурационной его части, а значения активной мощности печи, вид, количество и порядок ввода присадок по ходу плавки периодически определяют постоянно путем расчета материального и теплового балансов при минимизации стоимости плавки, причем дополнительно контролируют продолжительность плавки с учетом времени простоев и/или расхода газов, а температуру определяют из баланса поступившей энергии и разности энтальпий присадок и продуктов плавки, причем энтальпию шлака вычисляют по формуле:

$$H = \prod_{x_i} - \sum_{x_i} x_i \quad (2)$$

где H - энтальпия шлака, Дж/моль;
 χ_i - энергетический параметр i-го компонента в шлаке, Дж/моль;
 x_i - мольная доля i-го компонента в фазе.

Изобретение основано на том, что перед началом каждой текущей плавки формируют ее проект на основании статистической обработки массива плавок, а также физико-химических закономерностей процесса плавки в электрической печи. Проект плавки представляет собой технологическое задание на плавку и включает в себя временные графики работы всех исполнительных механизмов: подачу шлакообразующих, расход газов, энергоносителей с учетом загружаемой в печь металлошихты.

С началом плавки включают систему

автоматического управления, которая с интервалом 5-12 с вырабатывает управляющие воздействия на исполнительные механизмы на основании постоянно поступающей информации о значениях масс и видов материалов, фактически вводимых в электрическую печь, а также данных об электрическом режиме плавки.

Выработку управляющих воздействий на исполнительные механизмы чаще чем через каждые 5 с проводить нецелесообразно, так как изменения, происходящие в системе металл - шлак - газ, в этот период меньше ошибок существующих методов анализа.

Увеличение интервала более 12 с, в особенности при реализации способа в современных сверхмощных электродуговых печах, сопряжено со снижением точности прогнозов, что приводит к снижению точности управления процессом плавки в электрической печи.

Необходимость корректировки управляющих воздействий на исполнительные механизмы в течение всего процесса плавки вызвана происходящими в реальном процессе отклонениями от заданного проекта.

При выработке управляющих воздействий на исполнительные механизмы учитывают материальный и тепловой балансы, проводят термодинамический расчет текущего состава системы металл - шлак - газ и их температуры, которые на протяжении всей плавки используют как контролируемые параметры. В результате проводят поиск оптимальных значений управляющих воздействий с корректировкой проекта на всю оставшуюся часть плавки, при этом в качестве исходных параметров для выработки управляющих воздействий используют данные о вводе шлакообразующих, восстановителей, энергоносителей и газов.

Модель плавки в электрической печи имеет вид дифференциального уравнения:

$$\dot{x} = f(t, x(t), u(t)) \quad (3)$$

где $x=(x_1, \dots, x_n)$ - вектор состояний объекта;
 $u=(u_1, \dots, u_n)$ - вектор управлений (воздействий);
 t - время;
 n - число параметров, определяющих состояние системы.

Текущее состояние системы определяли двумя параметрами: управляющими воздействиями (u) и самопроизвольным стремлением системы к состоянию равновесия (x), а их кинетическую траекторию получали прямым численным интегрированием уравнения (3).

Текущие значения масс и химического состава компонентов системы металл - шлак - газ по изобретению определяли из расчета параметра, определяющего термодинамическое состояние системы с учетом фактических данных, поступающих в блок управления о вводимых в печь компонентах шихты, электрическом режиме и отклонениях от заданного проекта плавки. Таким параметром является конфигурационная энтропия - вероятностная функция, связанная с тепловыми характеристиками системы, изменение которых в свою очередь отражает все изменения параметров, возникающих по ходу плавки, т.е. параметр, который учитывает все изменения, возникающие в материальном

объекте в результате воздействий, оказываемых на объект с помощью материальных средств. Параметр обладает свойствами аддитивности и может принимать экстремальные значения при равновесии. Представив систему металл - шлак - газ в состоянии равновесия, как

$$G=G(T,P,m_1,m_2,\dots, m_k) \quad (4),$$

где G - свободная энергия Гиббса, m_1, m_2, \dots, m_n - массы химических элементов, образующих систему (вычисляют по подаваемым исходным материалам и энергоносителям),

T - температура (вычисляют из энергетического баланса),

P - общее давление в системе (для дуговой сталеплавильной печи, кислородного конвертера и печи-ковша, $P \approx 1$ атм),

и исходя из того, что после расплавления шихты система распадется на три фазы: металл, шлак и газ, в которых масса каждого компонента m_i существует в каждой фазе:

$$m_i = m_{[i]} + m_{(i)} + m_{(g)} \quad (5),$$

где $m_{[i]}$, $m_{(i)}$ и $m_{(g)}$ - масса i -го компонента в металле, шлаке и газе соответственно.

Определение химического состава в каждой фазе сводится к нахождению значений этих масс.

Учитывая, что свободная энергия системы является суммой свободных энергий фаз:

$$G = G_{мет} + G_{шл} + G_{газ} \quad (6),$$

где $G_{мет}$, $G_{шл}$ и $G_{газ}$ - энергия Гиббса металла, шлака и газа соответственно

$$G_{мет} = G_{мет}(T, P, m_{[1]}, m_{[2]}, \dots, m_{[k]}) \quad (7),$$

$$G_{шл} = G_{шл}(T, P, m_{(1)}, m_{(2)}, \dots, m_{(k)}) \quad (8),$$

$$G_{газ} = G_{газ}(T, P, m_{(1)}, m_{(2)}, \dots, m_{(k)}) \quad (9),$$

и, записав $2k$ условий равновесия в интенсивных переменных:

$$\mu_{[i]} = \mu_{(i)} = \mu_{(g)} \quad (10)$$

где $\mu_{[i]}$, $\mu_{(i)}$, $\mu_{(g)}$ - химический потенциал i -го компонента соответственно в металле, шлаке и газе,

получаем систему $3k$ уравнений, позволяющих вычислить все $3k$ неизвестных масс образовавшихся продуктов плавки и их химический состав.

При статистическом вычислении энтропии по формуле Больцмана в качестве независимых единиц теплового движения металла и шлака согласно изобретению принимали атомы и электроны элементов системы металл - шлак - газ.

Экспериментально установлено, что теплоемкость пропорциональна числу атомов и "тепловых" электронов, образующих фазу.

Конфигурационную составляющую энтропии i -го компонента в фазе вычисляли по формуле:

$$S_i = R \ln \frac{x_i}{\sum_{j=1}^k \left(x_j \exp \frac{\epsilon_{j,i}}{RT} \right)} \quad (11)$$

где S_i - конфигурационная энтропия i -го компонента в фазе, Дж/моль;

x_i - мольная доля i -го компонента в фазе;

k - количество компонентов в фазе;

$\epsilon_{j,i}$ - энергия перестановки компонентов j и i , Дж/моль, вычисляемая по формуле:

$$\epsilon_{j,i} = (\chi_j^{1/2} - \chi_i^{1/2})^2 \quad (12),$$

где χ_i, χ_j - энергетические параметры

компонентов i и j соответственно в фазе, Дж/моль.

При этом установлено, что учет энергетической неэквивалентности перестановок при вычислении термодинамической вероятности, входящей в формулу вычисления энтропии, повышает точность расчета равновесного состава конденсированных фаз (металла и шлака), что приводит к повышению точности управления процессом в электрической печи.

Температуру определяли из баланса поступившей энергии и разности энтальпий исходных материалов и продуктов плавки с учетом влияния состава фаз на тепловые эффекты по формуле:

$$H = \sum_i \chi_i x_i - \sum_i \chi_i x_i \quad (13)$$

где H - энтальпия шлака, Дж/моль;

χ_i - энергетический параметр i -го

компонента, Дж/моль;

x_i - мольная доля i -го компонента в шлаке.

Принятый в предлагаемом изобретении расчет температуры позволяет повысить точность управления процессом плавки в электрической печи.

Кинетические константы определяли следующим образом. При введении в электрическую печь на каждом i -ом временном интервале ($d\tau_i$) - (в предлагаемом способе интервал составляет 5-12 с) фиксированного количества энергоносителей, газов, окислителей происходит плавление металла и шлакообразующих. При этом образуется определенное количество шлака массой $dm_{шл}$ и газа массой $dm_{газ}$ соответствующие текущему среднему составу металла.

Полученная масса газа $dm_{газ}$ удаляется в атмосферу, а образовавшаяся масса шлака $dm_{шл}$ смешивается с основной массой шлака, при этом часть шлака массой dm_1 определяли по формуле:

$$dm_1 = m_{шл} \cdot K_k \quad (14)$$

где dm_1 - масса части шлака, кг;

$m_{шл}$ - масса всего шлака, кг;

K_k - статистически определяемый

кинетический коэффициент;

и приводили в равновесие с металлом, в результате чего получали металл, шлак и газ с отличными от первоначальных массами и химическими составами, после чего шлак смешивали с основной массой шлака, а газ удаляли в атмосферу.

Полученные таким образом данные о массах и химических составах металла, шлака и газа и их температуры поступали в блок управления в качестве текущих значений на момент окончания i -го цикла итераций.

На основании полученных данных о материальном и тепловом балансах при минимизации стоимости плавки блок управления постоянно вырабатывает оптимизированные управляющие воздействия на исполнительные механизмы - значение рабочей мощности, вид, количество и порядок ввода присадок по ходу плавки, при этом постоянно осуществляют контроль длительности плавки с учетом времени простоя и/или несанкционированного изменения массы присадок и/или газов, данные о которых также непрерывно поступают в блок управления.

Таким образом, в результате найденных технологических приемов обеспечивается оперативность контроля за параметрами плавки, уточненные термодинамический и кинетический расчеты, а также определение температуры с учетом влияния состава фаз на тепловые эффекты, что приводит к повышению точности управления процессом плавки в электрической печи за счет оптимизации выработки управляющих воздействий на исполнительные механизмы.

Пример. Выплавку железоуглеродистого полупродукта со следующим химическим составом на выпуске С 0,06-0,04%, S не более 0,035%, P не более 0,015%, Cr не более 0,30%, Ni не более 0,30%, Cu 0,30% и температуре 1630°C, проводили в 120-тонной дуговой сталеплавильной печи 75 МВА.

Предварительно были определены заданные контролируемые параметры плавки: массы, химический состав металла и шлака и их температура.

Для реализации способа с определенными контролируемыми параметрами был разработан проект плавки - управляющие воздействия, в качестве которых использовали: ввод шлакообразующих материалов - извести (CaO-94%, SiO₂-1%, MgO-1%), известняка (CaO -53,6%, SiO₂-1%, MgO-3,6%), восстановителей - кокса (С 85%, S 1,6%), подачу газов - природного (CH₄- 99%); кислорода (O₂- 99%); энергоносителей - электроэнергия (мощность).

На 5 секунде в печь загрузили корзину 43500 кг металлолома: 33300 кг лома габаритного (С-0,35%, Mn-0,5%, Si-0,21%, P-0,050%, S-0,075%), 8300 кг стальной стружки (С-0,8%, Mn-0,5%, Si-0,21%, P-0,050%, S-0,150%), 1900 кг окалины (FeO-100%) и 800 кокс (С-85%). На 300 секунде включили подачу газов - кислорода 0,6 м³/с и природного газа с расходом 0,3 м³/с (топливно-кислородные горелки). На 330 секунде включили трансформатор на ступени напряжения мощностью 44 МВт •ч. После чего включили подачу газа - кислорода с интенсивностью 0,6 м³/с (манипулятор "палмур") и 0,66 м³/с (манипулятор "фукс"). На 750 секунде плавки начали вводить шлакообразующие - известь с интенсивностью 0,5 кг/с, известняк с интенсивностью 0,55 кг/с и восстановители - кокс 0,5 кг/с.

В течение всего периода процесса плавки с периодичностью 5-12 с определяли массу, химический состав металла, шлака, газа и их температуру. Массу и химический состав металла и шлака определяли согласно предлагаемому вычислению энтропии. Температуру металла, шлака и газа определяли из баланса поступившей энергии и разности энтальпий поступивших материалов и продуктов плавки. Контролировали продолжительность плавки с учетом времени простоев. Активную мощность печи, вид, количество и порядок ввода присадок по ходу плавки определяли постоянно путем расчета материального и теплового балансов при минимизации стоимости плавки для получения заданного химического состава и температуры железоуглеродистого расплава на выпуске.

Определение всех контролируемых параметров проводили в течение всего процесса плавки с интервалом 5-12 с.

Корректировка управляющих воздействий на исполнительные механизмы осуществлялась с таким же временным интервалом, причем корректировку проводили по отношению к проекту плавки, выработанному в предыдущем интервале.

В таблице показано три временных момента плавки: начало, его середина и окончание. В связи с тем что проект плавки предыдущего временного интервала является величиной гипотетической, из данных, приведенных в таблице, контролируемым параметром была выбрана стоимость плавки.

Данные о фактическом ходе процесса приведены в таблице пункты 2-5.

Как видно из таблицы, при определении массы, химического состава металла и шлака и их температуры на 5, 7 и 12 секунде плавки данные о фактических контролируемых параметрах практически не изменились потому, что никакого воздействия на ход технологического процесса оказано не было.

Анализ данных через 24 мин 45 с от начала плавки (п.2) показывает о повышении стоимости плавки потому, что по ходу плавки был простой с 300 секунды плавки по 630 (330 с), количество введенных материалов, энергоносителей и газов не соответствовало заданным в уточненном проекте плавки массам и объемам. Ввиду этого были выработаны следующие управляющие воздействия: интенсивность ввода извести увеличена до 0,9 кг/с, известняка до 0,43 кг/с, мощность ввода электроэнергии увеличена до 50 МВт•ч. и вновь составлен уточненный проект плавки.

Приведенные в таблице данные об управляющих воздействиях на исполнительные механизмы на заключительном этапе плавки (через 51 мин 15 с от начала плавки) свидетельствуют о том, что количество введенных материалов, энергоносителей и газов не соответствовало заданным массам и объемам по предыдущему проекту плавки по причине нечеткой работы оборудования. Поэтому была повышена интенсивность ввода кислорода до 0,8 м³/с (манипулятор "палмур") и снижена интенсивность подачи восстановителя - кокса до 0,7 кг/с.

После окончания плавки были отобраны пробы металла и шлака на химический анализ и замерена температура. Анализ данных приведенных в таблице свидетельствует о практически полном совпадении контролируемых параметров с заданными величинами.

Выплавку железоуглеродистого полупродукта с химическим составом и температурой на выпуске, аналогичными предлагаемому способу, проводили в 120-тонной дуговой сталеплавильной печи 75МВА по способу - ближайшему аналогу.

Предварительно были определены заданные контролируемые параметры плавки: содержание CaO и SiO₂ в шлаке.

Для реализации способа с заданными контролируемыми параметрами были выработаны управляющие воздействия, в качестве которых использовали: ввод шлакообразующих - известь, известняк и восстановителей - кокс, энергоносители -- электроэнергия (мощность).

Загрузку шихты, дозировку и включение печи выполняли аналогично предлагаемому

способу.

Периодически проводили контроль содержания CaO и SiO₂ в шлаке путем отбора проб начиная с 58 мин 55 с плавки через каждые 180 с до выпуска. На основе этого определяли основность шлака. С помощью одноразовых термопар погружения начиная с 58 мин 55 с плавки определяли температуру с периодичностью 180 с. Данные о фактическом ходе процесса при фиксированном времени плавки по способу прототипа приведены в таблице пункты 6-7.

Анализ представленных в таблице данных показывает существенное расхождение в заданных и фактических величинах контролируемых параметров как на 58 мин 55 с плавки так и на выпуске. Более того, ввиду большого интервала определения контролируемых параметров (180 с по сравнению с 5-12) отмечали значительное расхождение в сравнении с заданными параметрами в проекте плавки по температуре и химическому составу на выпуске, перерасход энергоносителей и материалов, увеличение длительности плавки и соответственно ее стоимости.

Предлагаемый способ управления электрической печью позволяет повысить точность и надежность управления, экономичность самого процесса выплавки.

Повышение точности приводит к увеличению производительности и сокращению расходов за счет повышения технологической дисциплины, позволяет отслеживать несанкционированные изменения в процессе плавки и нивелировать их с помощью настроечных констант. Полученные результаты согласно заявляемому способу свидетельствуют о реализации возможности полного перехода на ведение плавки в автоматическом режиме.

Формула изобретения:

Способ управления процессом плавки в электрической печи, включающий дозировку компонентов шихты, их загрузку в печь, регулирование теплового и электрического режимов плавки путем поддержания рабочей

мощности печи перемещением электродов и/или переключением ступеней напряжения печного трансформатора, определение контролируемых параметров плавки, выработку управляющих воздействий, получение заданных температуры и химического состава продуктов плавки путем использования управляющих воздействий, выпуск продуктов плавки из печи, отличающийся тем, что в качестве исходных параметров для выработки управляющих воздействий используют ввод шлакообразующих, восстановителей, энергоносителей и газов, а в качестве контролируемых параметров используют массу и химический состав компонентов образующихся металла и шлака и их температуру, которые определяют в течение всего процесса плавки с периодичностью 5-12 с, при этом массу и химический состав определяют по параметру состояния системы, при вычислении которого независимыми единицами теплового движения металла и шлака считают атомы и электроны, при расчете конфигурационной его части учитывают энергетическую неэквивалентность перестановок этих единиц, а значения рабочей мощности печи, вид, количество и порядок ввода по ходу плавки периодически определяют постоянно путем расчета материального и теплового балансов при минимизации стоимости плавки, причем дополнительно контролируют продолжительность плавки с учетом времени простоя и/или расхода газов, а температуру определяют из баланса поступившей энергии и разности энтальпий присадок и продуктов плавки, причем энтальпию шлака вычисляют по формуле

$$H = \prod_{x_i}^{x_i} - \sum_{x_i} x_i \cdot x_i$$

где H - энтальпия шлака, Дж/моль;
 χ_i - энергетический параметр i-го компонента в шлаке, Дж/моль;
 x_i - мольная доля i-го компонента в фазе.

Таблица

№ п/п	Время замера, ч:м:с	Э/э, МВтч	Кислород, м ³ /сек		Природный газ, м ³ /сек	Известняк, кг/сек	Известь, кг/сек	Кокс, кг/сек		Н, Дж/моль	Температура, °С	Стоимость, дол. США
			"Пал мур"	"Фукс"				ТКГ	ТКГ			
1											1630	13780
2	0:00:05	0	0	0	0	0	0	0	0	230.6	25	13780
	0:00:07	0	0	0	0	0	0	0	0	231.3	25	13783
	0:00:12	0	0	0	0	0	0	0	0	233.1	24	13785
3	0:24:45	50	0.6	0.66	0.8	0.22	0.55	0.9	0.55	240.2	986	13840
4	0:51:15	48	0.8	0.62	0.6	0.43	0.90	0.7	0	268.7	1378	13828
5	1:02:05	0	0	0	0	0	0	0.5	0	278.9	1630	13785
6	0:58:55	47	0.6	0.6	0	0	0.30	0.2	0		1556	13800
7	1:06:45	0	0	0	0	0	0	0	0		1644	14538

Таблица (продолжение)

№ п/п	Время замера, ч:м:с	Металл										Шлак				
		Химический состав, %										Химический состав, %				
		С	Мп	Si	S	P	Масса, тонн	FeO	CaO	SiO ₂	P ₂ O ₅	МnO	Масса, тонн			
1		0.06-0.04			<0.035	<0.015	135	35-50	20-25	13-18				10		
2	0:00:05	0.0301	0.0231	0.0031	0.0805	0.014	10.1	54.6134	16.9253	16.9906	0.4374	4.2738	13.0			
	0:00:07	0.0301	0.0231	0.0031	0.0805	0.014	10.1	54.6168	16.9237	16.989	0.4374	4.2734	13.0			
	0:00:12	0.0301	0.0231	0.0031	0.0805	0.014	10.1	54.6203	16.9221	16.9874	0.4374	4.273	13.0			
3	0:24:45	0.3184	0.1488	0.0626	0.0441	0.0166	65.2	50.1908	22.617	16.6796	0.4083	3.4495	22.5			
4	0:51:15	0.2232	0.1609	0.0577	0.0431	0.0184	88.4	49.5558	23.3302	16.8663	0.4051	3.3511	26.5			
5	1:02:05	0.0408	0.0543	0.0019	0.0339	0.012	138.2	50.7604	23.0418	14.5113	0.4276	4.0231	8.5			
6	0:58:55	0.0414	0.0246	0.0019	0.050	0.0126	137.0	51.686	23.0294	14.5713	0.4313	4.0332	18.1			
7	1:06:45	0.0324	0.0196	0.0013	0.048	0.0136	136.1	53.0138	23.2446	13.5291	0.3629	3.8327	9.3			