

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2456519

### СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМОМ РАБОТЫ РУДНО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЦИРКОНИЕВОГО ЭЛЕКТРОКОРУНДА

Патентообладатель(ли): *Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова (технический университет)" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2010124527

Приоритет изобретения **15 июня 2010 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **20 июля 2012 г.**

Срок действия патента истекает **15 июня 2030 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов





## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2010124527/02, 15.06.2010

(24) Дата начала отсчета срока действия патента: 15.06.2010

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 15.06.2010

(43) Дата публикации заявки: 20.12.2011

(45) Опубликовано: 20.07.2012

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: SU 1582365 A1, 30.07.1990. RU 2080534 C1, 27.05.1997. RU 2374583 C2, 27.11.2009. FR 2670571 A1, 19.06.1992. DE 4344854 A1, 06.07.1995.

Адрес для переписки:

199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия,  
2, СПГГИ (ТУ), отдел интеллектуальной  
собственности и трансфера технологий  
(отдел ИС и ТТ)

(72) Автор(ы):

Белоглазов Илья Никитич (RU),  
Педро Анатолий Александрович (RU),  
Кадыров Энвер Джумангелдиевич (RU),  
Васильев Валерий Викторович (RU),  
Белоглазов Илья Ильич (RU)

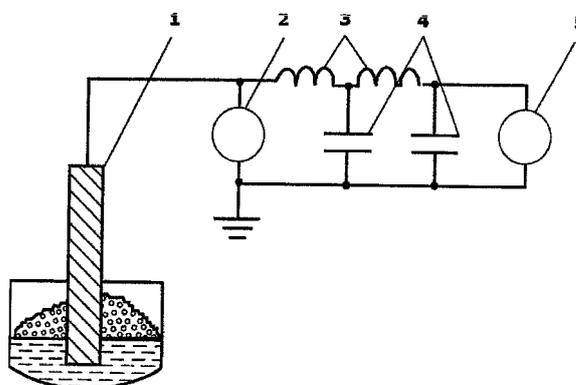
(73) Патентообладатель(и):

Государственное образовательное  
учреждение высшего профессионального  
образования "Санкт-Петербургский  
государственный горный институт  
имени Г.В. Плеханова (технический  
университет)" (RU)

## (54) СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМОМ РАБОТЫ РУДНО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЦИРКОНИЕВОГО ЭЛЕКТРОКОРУНДА

(57) Реферат:

Изобретение относится к области металлургии, а именно к способам управления работой электрических печей для получения легированного (циркониевого) корунда. Технический результат - стабилизация процесса плавки. Способ управления режимом работы рудно-термической печи для получения циркониевого электрокорунда включает измерение по ходу плавки напряжения и тока электродов, контроль подачи шихты и степени развития электрической дуги. Измеряют также значение постоянной составляющей фазного напряжения каждого электрода, сравнивают с предварительно заданным оптимальным значением и при отклонении от заданного значения осуществляют корректировку электрического режима или дозировки шихты до устранения отклонения значения постоянной составляющей фазного напряжения. 3 ил.



Фиг. 1

Изобретение относится к области металлургии, а именно к способам управления работой электрических печей для получения легированного (циркониевого) корунда. Технический результат - стабилизация процесса плавки. Способ управления режимом работы рудно-термической печи для получения циркониевого электрокорунда включает измерение по ходу плавки напряжения и тока электродов, контроль подачи шихты и степени развития электрической дуги. Измеряют также значение постоянной составляющей фазного напряжения каждого электрода, сравнивают с предварительно заданным оптимальным значением и при отклонении от заданного значения осуществляют корректировку электрического режима или дозировки шихты до устранения отклонения значения постоянной составляющей фазного напряжения. 3 ил.

Изобретение относится к области металлургии, а именно к способам управления работой электрических печей для получения легированного (циркониевого) корунда.

Известен способ управления на основе сопровождающего горение дуги электромагнитного излучения с частотой 100 МГц (см. Тулуевский Ю.Н., Нечаев Е.А. Информационные проблемы интенсификации сталеплавильных производств. - М.: Металлургия, 1977. - 80 с.).

Недостатком данного способа является то, что этот способ помогает судить о наличии или отсутствии дуги в печи и лишь очень приблизительно о ее мощности. Последняя величина зависит от многих случайных факторов: потребляемой мощности, состава шихты, особенностей ведения процесса плавки. Этот метод более пригоден для металлургических производств с иным режимом горения дуги, чем при получении циркониевого электрокорунда в рудно-термической печи.

Известен способ контроля плавки стали по степени развития электрической дуги, определяемой путем подсчета количества бросков тока за уровни  $\pm 20-40\%$  от среднего значения за время действия сигнала регулирования или по превышению числа выбросов заданной уставки (Галкин М.Ф., Кроль Ю.С. Кибернетические методы анализа электроплавки стали. - М.: Металлургия, 1971. - 217 с.). Контроль в этом случае можно вести как по частному, так и по амплитудному спектрам тока. При этом считают выбросы значений тока за заданные уровни в течение определенного временного интервала. Изменение количества выбросов в большую или меньшую сторону от некоторой заданной величины свидетельствует об изменении степени развития дуги.

Недостатком способа является то, что как количество бросков тока за определенное время, так и превышение амплитудного значения этих бросков заданной величины характеризуют в основном характер горения дуги: устойчивая дуга или нет. Последний фактор зависит не только от выбранных электрических параметров работы печи, но и от свойств расплавляемой шихты: сопровождается ли ее плавление короткими замыканиями, зависаниями и т.д., т.е. способ отражает ход плавки, но не степень развития дуги. Судя по данному способу, чем больше бросков тока, тем больше развит дуговой режим, однако дуга может гореть устойчиво, особенно на расплав, и без заметных бросков тока. Метод не предполагает управление электрическим режимом на протяжении всей плавки, а позволяет только определить наступление новой стадии процесса по изменению количества выбросов в большую или меньшую сторону.

Известен «Способ управления плавкой белого электрокорунда в электродуговой печи (А.С. № 1582365, БИ № 28, 1990). Управление процессом плавки белого электрокорунда ведут в соответствии со степенью развития электрической дуги. Эту степень определяют по величине относительного содержания в токе электродов гармонических составляющих с частотами 150 Гц и 250 Гц. Способ включает измерение и анализ гармонического состава тока электродов и корректировку электрического режима переключением ступеней печного трансформатора и/или перемещением электродов. С целью снижения удельного расхода электроэнергии при плавке на шихте из рядового и глубокопрокаленного глинозема, по ходу плавки измеряют отношения пятой и третьей гармоник тока к первой, по предварительно установленной для электродуговой печи зависимости между отношением пятой гармоники к первой и содержанием а-фазы в шихте определяют содержание а-фазы в последней и при ее величине менее 70% осуществляют корректировку электрического режима печи в сторону уменьшения отношения третьей гармоники к первой на 40-50% от измеренного, а при величине содержания а-фазы в шихте более 80% осуществляют корректировку электрического режима в сторону увеличения отношения третьей гармоники к первой на ту же величину.

Недостатком способа является то, что изменение содержания в токе электрода этих гармонических составляющих сопровождается изменением индуктивного сопротивления печной установки, т.е. в конечном итоге ее общего сопротивления. Отсюда зависимость относительного содержания в токе электрода этих гармонических составляющих от степени развития дуги носит нелинейный характер, что затрудняет оценку текущего электрического режима.

Известен «Способ управления процессом плавки карбида кальция» (патент RU № 2080534. Оpubл. БИ № 15, 1997), выбранный в качестве прототипа, в котором с целью более точного определения момента выпуска расплава карбида кальция из печи и момента перепуска электрода предлагается использовать постоянную составляющую фазного напряжения, так как между указанными параметрами установлена достоверная зависимость. В соответствии с этим способом сигнал на выпуск расплава из печи и окончание выпуска осуществляют по достижении постоянной составляющей фазного напряжения некоторых контрольных заданных значений в соответствии с формулами:

$$U_{Bi}=U_{nk}-A+(i-1)\Delta U_1,$$

$$U_{ki}=U_{nk} +i\Delta U_1,$$

где  $U_{Bi}$ ,  $U_{ki}$  - значения постоянной составляющей фазного напряжения на момент, соответственно, начала и окончания выпуска расплава, В;

$U_{nk}$  - значения постоянной составляющей фазного напряжения на момент окончания последнего перепуска электрода, В;

$\Delta U_1$  - градиент постоянной составляющей фазного напряжения от начала или окончания одного выпуска расплава до начала или окончания следующего выпуска, В;

A - постоянная величина, зависящая от количества выпускаемого одновременно расплава, В;

i - порядковый номер выпуска расплава в период между двумя соседними перепусками электрода.

Способ позволяет стабилизировать процесс плавки карбида кальция путем поддержания уровня расплава в ванне печи и более точной коррекции величины угара электрода, что снижает удельные расходы электроэнергии и сырья.

Недостатком данного способа управления в этом процессе является то, что выпуск расплава карбида кальция и перепуск электродов производят периодически и величина постоянной составляющей фазного напряжения в основном и определяется продолжительностью времени между выпусками расплава карбида кальция и перепусков электродов. Изменения постоянной составляющей, обусловленные этими факторами, превышают изменения постоянной составляющей, обусловленные обвалами или обрушениями шихты, что затрудняет их идентификацию.

Технический результат заключается в повышении производительности печи и качества получаемого продукта за счет управления режимом работы рудно-термической печи для получения циркониевого электрокорунда.

Технический результат достигается тем, что в способе управления режимом работы рудно-термической печи, включающем измерение по ходу плавки напряжения и корректировку электрического режима переключением печного трансформатора или дозировки шихты, контролируют степень развития электродугового режима путем измерения значения постоянной составляющей фазного напряжения каждого электрода, сравнивают с предварительно заданным значением постоянной составляющей фазного напряжения, соответствующим оптимальной степени развития электрической дуги, и при отклонении от заданного значения осуществляют корректировку до устранения отклонения при неизменной потребляемой мощности.

Под воздействием случайных факторов (зависание шихты, задержки с выпуском расплава и т.п.) распределение выделяемой в печи мощности между электрической дугой и расплавом может измениться и мощность электрической дуги может выйти за оптимальные пределы со всеми отрицательными последствиями. При этом электрические параметры: напряжение, ток электродов и потребляемая мощность рудно-термической печи в результате работы автоматики будут оставаться на заданном уровне, хотя сложившаяся обстановка требует их изменения.

Контроль (измерение) степени развития электрической дуги в рудно-термической печи представляет значительные сложности из-за труднодоступности реакционного пространства и агрессивной среды. Поэтому о развитии электрической дуги предлагается судить по косвенному показателю - постоянной составляющей фазного напряжения.

Измерение при работе рудно-термической печи по ходу плавки значения постоянной составляющей фазного напряжения дает информацию о степени развития дугового режима в печи. Степень развития дугового режима определяется по величине постоянной составляющей фазного напряжения и она имеет определенное оптимальное значение при работе рудно-термической печи.

Наличие постоянной составляющей в фазном напряжении рудно-термической печи, работающей при наличии электрической дуги переменного тока, обусловлено вентильным эффектом. Величина существующей при этом постоянной составляющей фазного напряжения равна:

$$U_{пс} = U_{псд} \cdot a \cdot R \cdot J_{д},$$

где  $U_{псд}$  - постоянная составляющая электрической дуги, В;

$J_{д}$  - ток электрической дуги, А;

R - сопротивление расплава, на который горит дуга, Ом;

$$a = 2 \cdot \frac{j_{д1} - j_{д1}}{j_{д1} + j_{д1}} = \frac{\Delta j_{д}}{j_{дср}}$$

- отношение разницы плотностей тока дуги в соседних полупериодах к средней плотности тока дуги.

В этом уравнении значение постоянной составляющей электрической дуги, R и a зависят от состава расплава и его температуры и для рудоплавильного процесса получения циркониевого электрокорунда остаются постоянными. Величина - значение постоянной составляющей фазного напряжения - зависит только от тока электрической дуги. Величина тока электрической дуги при неизменной ступени печного трансформатора зависит от степени развития дугового режима, т.е. от длины электрической дуги.

Уменьшение длины дуги (т.е. заглабление электрода - перемещение электрода вниз) сопровождается увеличением тока электрической дуги и уменьшением значения постоянной составляющей фазного напряжения (при неизменном фазном напряжении). Увеличение длины дуги (т.е. поднятие электрода - перемещение электрода вверх) сопровождается уменьшением тока электрической дуги и увеличением значения постоянной составляющей фазного напряжения (при неизменном фазном напряжении).

Чрезмерное развитие дуги нежелательно, так как высокие температуры в зоне горения и восстановительный характер дуги оказывают весьма значительное воздействие на шихту и продукт плавки. Так, в зоне ее горения могут образовываться не только пары оксидов, но и большие количества газообразных субоксидов  $AlO$ ,  $Al_2O$ ,  $SiO$ , а также паров металлов, прежде всего таких как кальций, магний и алюминий. Покинув зону горения дуги, субоксиды и пары металлов практически полностью окисляются с образованием мелкодисперсных частиц оксидов. Эти частицы вместе с механическим уносом шихтовых материалов являются причиной образования пыли при плавке циркониевого электрокорунда. Увеличение количества пыли ведет к перегрузке электрофильтров и потерям шихты.

Слишком низкое развитие дуги тоже носит отрицательный характер. Контакт углеродистого электрода с расплавом ведет к науглероживанию последнего, тем самым ухудшая качество получаемого продукта.

Для каждого режима работы рудно-термической печи определяют заданное значение постоянной составляющей фазного напряжения, соответствующее току электрической дуги, при котором развитие дугового режима имеет оптимальный характер. В дальнейшем, измеренное по ходу плавки значение постоянной составляющей фазного напряжения каждого электрода сравнивают с предварительно заданным значением.

При отклонении от заданного значения постоянной составляющей фазного напряжения осуществляют корректировку электрического режима или подачи шихты до устранения отклонения.

Например, во время работы рудно-термической печи, в процессе плавки электрические параметры и потребляемая мощность находятся в заданных пределах (ток и мощность поддерживаются существующими регуляторами), а значение постоянной составляющей фазного напряжения меньше заданного значения. Это говорит о том, что в данном случае снизилась степень развития электрической дуги в результате увеличения количества расплава в ней и, как следствие, увеличения электросопротивления печной ванны. Необходимая степень развития дуги может быть увеличена путем переключения печного трансформатора на более высокое напряжение при неизменной потребляемой мощности. Это приведет к росту степени развития дуги.

Измерение величины постоянной составляющей фазного напряжения осуществляется с помощью электрического фильтра, схема которого представлена на фиг.1. Параметры электрического фильтра ( $L$  - индуктивность;  $C$  - емкость) определяются электрическими параметрами работы печи. Сигнал, пропорциональный фазному напряжению на одном из электродов (1), подается на электрофильтр, подключенный параллельно фазному вольтметру переменного тока (2). Электрофильтр состоит из одного или двух дросселей (3), которые не пропускают переменный ток и пропускают постоянную составляющую напряжения. Емкости (4) предназначены для предотвращения возможного попадания переменной составляющей в измерительную цепь постоянного тока. Вольтметр постоянного тока (5) измеряет значение постоянной составляющей фазного напряжения.

Развитие электрической дуги при работе рудно-термической печи носит оптимальный характер и управление режимом работы, помимо традиционного поддержания в определенных пределах таких параметров, как напряжение, величина тока в электродах, потребляемая мощность, подача шихты, должно включать и поддержание в определенных пределах степени развития дугового режима.

Пример. Рассмотрим способ управления режимом работы рудно-термической печи для получения циркониевого электрокорунда. Циркониевый корунд получают плавкой в электропечи предварительно подготовленной шихты методом на выпуск с последующим интенсивным охлаждением расплава на водоохлаждаемых валках кристаллизатора или пластинчатом катализаторе. Состав шихты на плавку, % (масс): шлифзерно нормального электрокорунда - 60-70, двуокись циркония - 25-30, двуокись титана - 5. Для определения связи электротехнологических параметров плавки с технико-экономическими показателями, в первую очередь с производительностью печи и удельным расходом электроэнергии на печи 4,5 МВА, был использован способ контроля степени развития электрической дуги с помощью постоянной составляющей фазного напряжения.

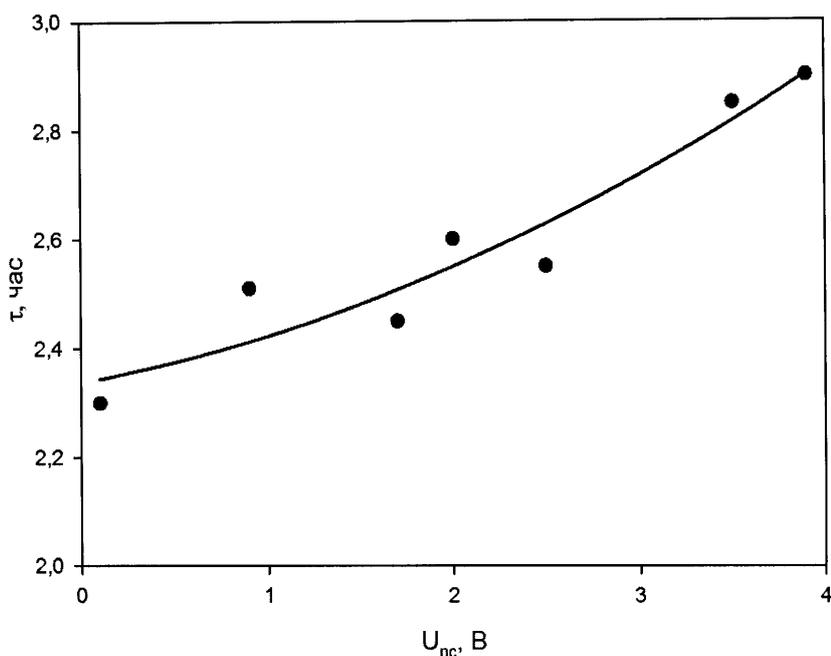
На фиг.2 представлена зависимость продолжительности плавки от постоянной составляющей фазного напряжения в течение всей плавки. На фиг.3 представлена зависимость величины потребляемой мощности от постоянной составляющей фазного напряжения в течение всей плавки.

Увеличение постоянной составляющей фазного напряжения более 2 В сопровождается увеличением продолжительности плавки и удельного расхода электроэнергии. Поэтому при неизменной потребляемой мощности снижение значения постоянной составляющей до величины от 1 до 2 В достигалось увеличением подачи шихты. Плавка при значении постоянной составляющей фазного напряжения менее 2 В сопровождается ухудшением качества получаемого продукта, а именно появлением в получаемом корунде металлического сплава, наличие которого вызвано восстановлением оксидов Fe, Al и Zr углеродом электродов. В этом случае, если существовал запас мощности, то переключали печной трансформатор на более высокое напряжение. Если печь работала на оптимальной мощности, то уменьшали подачу шихты.

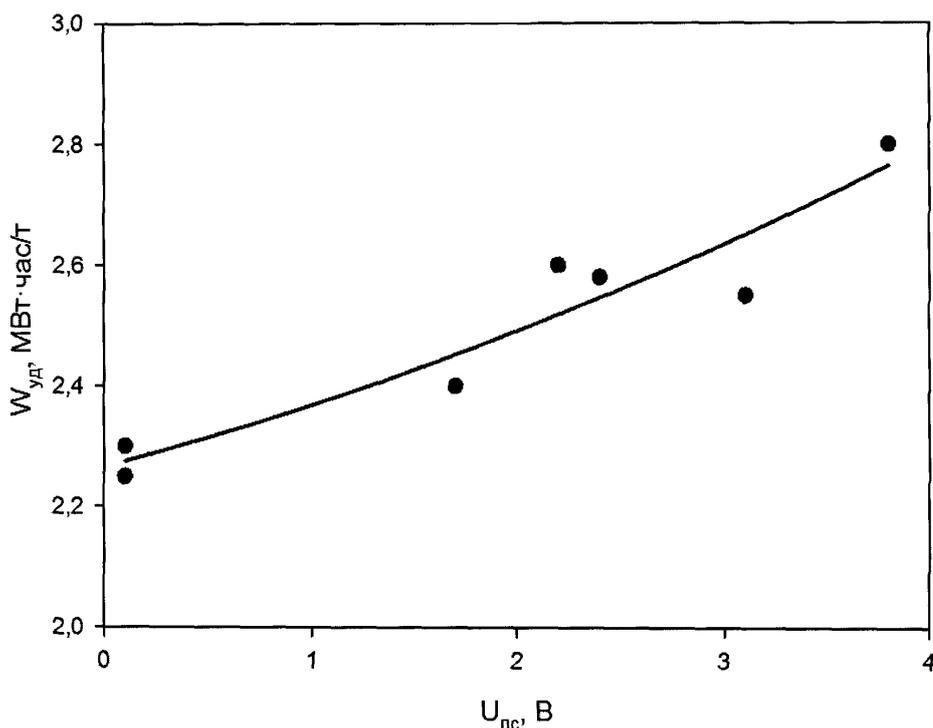
Таким образом, контроль степени развития электродугового режима путем измерения значения постоянной составляющей фазного напряжения каждого электрода, сравнение с предварительно заданным значением постоянной составляющей фазного напряжения, соответствующим оптимальной степени развития электрической дуги, и при отклонении от установленной величины корректировка электрического режима или дозировки шихты до устранения отклонения позволяют повысить производительность печи и качество получаемого продукта.

### Формула изобретения

Способ управления режимом работы рудно-термической печи для получения циркониевого электрокорунда, включающий измерение по ходу плавки значения напряжения и корректировку электрического режима переключением ступеней печного трансформатора или дозировки шихты, отличающийся тем, что контролируют степень развития электрической дуги путем измерения значения постоянной составляющей фазного напряжения каждого электрода, сравнивают его с предварительно заданным значением постоянной составляющей фазного напряжения, соответствующим оптимальной степени развития дуги, и при отклонении от заданного значения осуществляют корректировку до устранения отклонения при неизменной потребляемой мощности.



Фиг. 2



Фиг. 3