

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(11) 047493

(13) B1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2024.07.29

(21) Номер заявки
202292284

(22) Дата подачи заявки
2022.09.06

(51) Int. Cl. C22B 5/18 (2006.01)
F27D 17/00 (2006.01)
F27B 19/04 (2006.01)
C22B 5/12 (2006.01)
C22B 5/14 (2006.01)

(54) СПОСОБ ПЛАВКИ МЕТАЛЛСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ

(31) 2029142
(32) 2021.09.07
(33) NL
(43) 2023.03.31

(56) EP-A1-2937429
WO-A1-2017089651
EA-A1-200601981
RU-C2-2319749
RU-2318024

(71)(72)(73) Заявитель, изобретатель и
патентовладелец:

ГРЕЙЛИНГ ФРЕДЕРИК ПЕТРУС
(ZA)

(74) Представитель:
Фелицына С.Б. (RU)

(57) Изобретение относится к способу плавки. Способ включает следующие стадии: (i) подача агломератов, которые заключают в себе мелкие частицы металлсодержащего сырья и мелкие частицы восстановителя, в плавильную печь с образованием уплотнённого слоя агломератов; (ii) пропускание первой части отходящего газа, содержащего оксид углерода (CO), через уплотнённый слой агломератов для частичного восстановления мелких частиц металлсодержащего сырья; (iii) сжигание второй части отходящего газа, содержащего оксид углерода (CO), в качестве топливного газа при помощи горелки для нагревания агломератов в плавильной печи до температуры, превышающей 1000°C, и расплавления за счёт этого агломератов в плавильной печи с образованием расплавленного продукта; (iv) подача расплавленного продукта в восстановительную печь и (v) выплавка расплавленного продукта с образованием жидкого металлического продукта, жидкого шлакового продукта и отходящего газа, содержащего оксид углерода (CO), который подают в плавильную печь.

B1

047493

047493

B1

Область техники

Данное изобретение относится к способу плавки металлсодержащего сырья. Более конкретно, изобретение относится к способу плавки металлсодержащего сырья с использованием отходящего газа восстановительной печи, содержащего оксид углерода (CO), в качестве газа-восстановителя и топливного газа.

Уровень техники

Обычно металл извлекают из его руды посредством процесса плавки. В ходе процесса плавки оксид металла, имеющийся в руде, восстанавливается под воздействием тепла и химического восстановителя с высвобождением кислорода, связанного с металлом. Кислород, выделяющийся из оксида металла, связывается с углеродом с образованием отходящего газа, содержащего оксид углерода (CO).

Отходящий газ, содержащий оксид углерода (CO), часто сжигают в факеле и выпускают в атмосферу в виде диоксида углерода (CO₂). В таком случае теряется вся энергия, связанная с отходящим газом, содержащим оксид углерода (CO).

Были предприняты попытки использования энергии, связанной с отходящим газом, содержащим оксид углерода (CO). Как, например, отходящий газ, содержащий оксид углерода (CO), применяли для общезаводских целей нагревания и выработки мощности. Однако оба вышеуказанных варианта применения имеют относительно низкую тепловую эффективность, и по-прежнему теряется много энергии, связанной с отходящим газом, содержащим оксид углерода (CO).

Также известны металлургические процессы или способы, при помощи которых используют отходящий газ, содержащий оксид углерода (CO), для предварительного нагрева исходных материалов. Однако в указанных процессах и способах не используют оптимально энергию, связанную с отходящим газом, содержащим оксид углерода (CO).

Первый пример такого способа изложен в международной публикации № WO 2017/089651 A1. Изобретение, описанное в данной публикации, относится к способу предварительного нагрева и плавки агломерата марганцевой руды. Способ включает стадию сжигания отходящего газа, содержащего оксид углерода (CO), который испускается из погружной электродуговой печи, с образованием газообразного диоксида углерода (CO₂). Затем газообразный диоксид углерода (CO₂) подают в бункер предварительного нагрева для нагревания исходной смеси, которая включает в себе агломерат марганцевой руды, перед подачей указанной сырьевой смеси в погружную электродуговую печь. Данный способ включает также стадию регулирования температуры газообразного диоксида углерода (CO₂) на уровне температуры ниже температур плавления агломератов кальцитовой марганцевой руды, описанную в примерах 1-4 публикации. Таким образом, в способе, изложенном в данной публикации, отходящий газ погружной электродуговой печи, содержащий оксид углерода (CO), сжигают с образованием газообразного диоксида углерода (CO₂) с целью предварительного нагрева, а не плавления агломератов кальцитовой марганцевой руды.

Вышеописанный способ использовал Оутокумпу Ой с целью подогрева спечённых окатышей феррохромовой руды в бункере предварительного нагрева до температуры 700°C, а не их плавления. В результате это приводило к 6-8%-ному уменьшению количества электрической энергии, требуемой для плавления и восстановления феррохромовых окатышей в электродуговой печи. Таким образом, при том, что в данном способе используется отходящий газ, содержащий оксид углерода (CO), для обеспечения более энергетически эффективного процесса плавки руд, в нём не оптимально используется энергия, связанная с отходящим газом, содержащим оксид углерода (CO).

Второй пример способа, в котором отходящий газ, содержащий оксид углерода (CO), используют для повышения энергоэффективности процесса, изложен в заявке на европейский патент, опубликованной под номером EP 2937429 A1. В данной публикации описано изобретение, в соответствии с которым содержащий оксид углерода (CO) газ, отходящий из плавильной печи, частично сжигают и пропускают через печь предварительного нагрева для нагревания, а не для расплавления стального лома, который подают в печь предварительного нагрева. После пропускания через стальной лом некоторое количество отходящего газа, содержащего оксид углерода (CO), подают в восстановительную печь, где его сжигают в восстановительной атмосфере для частичного восстановления окалин низкосортного оксида железа при температурах от 800 до 1300°C, т.е. температурах ниже температур плавления окалин оксида железа. С учётом вышесказанного, в восстановительной печи окалины низкосортного оксида железа нагреваются и частично восстанавливаются в твёрдом состоянии. Затем частично восстановленные окалины низкосортного оксида железа подают в плавильную печь, где они плавятся и восстанавливаются полностью при помощи электрической энергии. Хотя в изобретении, описанном в данной заявке, используется некоторое количество энергии, связанной с отходящим газом, содержащим оксид углерода (CO), изобретение не подходит для плавления и восстановления металлсодержащих руд. Изобретение, изложенное в данной публикации, подходит только для плавления стального лома и восстановления окалин низкосортного оксида железа.

Третий пример способа, в котором используют отходящий газ, содержащий оксид углерода (CO), для повышения энергоэффективности способа, изложен в патенте США № 3186830. Изобретение, опи-

санное в данном патенте, относится к способу непрерывной выплавки литейного чугуна. Устройство, используемое для осуществления способа, включает в себя вертикальную шахтную печь, соединённую с копильником. Данный способ включает стадию подачи смеси металл-крупнокусковое топливо в вертикальную шахтную печь и плавки указанной смеси металл-крупнокусковое топливо с использованием энергии, полученной в результате сгорания кокса в шахтной печи. Отходящий газ, содержащий оксид углерода (CO), сжигают в копильнике для нагревания жидкого металла, который размещается в копильнике, до температуры разлива. Опять же, хотя в данном способе используется некоторое количество энергии, связанной с отходящим газом, содержащим оксид углерода (CO), такая энергия не используется в нём оптимально.

Из вышеизложенного очевидно, что остаётся потребность в лучшем использовании энергии, связанной с отходящим газом, содержащим оксид углерода (CO).

Задача настоящего изобретения заключается в разработке способа плавки металлсодержащего сырья с использованием отходящего газа восстановительной печи, содержащего оксид углерода (CO), при помощи которого, как полагает заявитель, можно лучше использовать энергию, связанную с отходящим газом, содержащим оксид углерода (CO), чем в известных плавильных процессах и системах, или который обеспечивал бы полезное альтернативное применение энергии, связанной с отходящим газом, содержащим оксид углерода (CO).

Раскрытие сущности изобретения

Согласно первому аспекту изобретения, предлагается способ плавки металлсодержащего сырья, включающий следующие стадии:

подают агломераты, содержащие мелкие частицы металлсодержащего сырья, мелкие частицы восстановителя и мелкие частицы флюса, в плавильную печь с образованием в ней уплотнённого слоя агломератов;

подают отходящий газ восстановительной печи, содержащий оксид углерода (CO), в горелку плавильной печи;

пропускают первую часть отходящего газа, содержащего оксид углерода (CO), через уплотнённый слой агломератов для частичного восстановления, по меньшей мере, некоторых мелких частиц металлсодержащего сырья;

подают источник газообразного кислорода (O_2) в горелку плавильной печи;

сжигают вторую часть отходящего газа, содержащего оксид углерода (CO), в качестве топливного газа при помощи горелки плавильной печи для нагревания агломератов в плавильной печи до температуры, превышающей $1000^{\circ}C$, и расплавления за счёт этого агломератов в плавильной печи с образованием расплавленного продукта;

подают расплавленный продукт в восстановительную печь; и

выплавляют расплавленный продукт с образованием жидкого металлического продукта, жидкого шлакового продукта и отходящего газа, содержащего оксид углерода (CO), который подают в горелку плавильной печи.

Мелкие частицы металлсодержащего сырья могут являться мелкими частицами руды или мелкими частицами оксида металла.

Агломерат может принимать форму брикета, окатыша или экструдата.

Следует принимать во внимание, что термин "мелкие" по стандарту металлургической промышленности обозначает очень маленькие частицы, что при агломерировании будет обеспечивать возможность тесного контакта между упомянутыми частицами. Как правило, частицы имеют диаметр 0,1 мм или меньше.

В варианте осуществления, в котором частицы восстановителя подают в плавильную печь отдельно от агломератов, частицы восстановителя, как правило, могут иметь диаметр 6 мм или меньше.

Специалистам в данной области техники будет понятно, что отходящий газ является газом, который испускается как побочный продукт химического процесса.

Данный процесс может включать дополнительную стадию подачи восстановителей в плавильную печь, независимо от агломератов. Восстановители могут представлять собой один из материалов, выбранных из группы, состоящей из антрацита, угля, кокса и их сочетаний.

Данный процесс может включать дополнительную стадию регулирования объёма (т.е. скорости потока) источника газообразного кислорода (O_2), который подают в горелку плавильной печи для обеспечения того, чтобы кислород (O_2) являлся ограничивающим реагентом в реакции горения отходящего газа, содержащего оксид углерода (CO), который подают в горелку.

Источник газообразного кислорода (O_2) можно предварительно нагревать перед подачей в горелку. Источник газообразного кислорода (O_2) можно предварительно нагревать до температуры $800^{\circ}C$. Источником газообразного кислорода (O_2), как правило, является воздух для горения.

В качестве альтернативы воздуху для горения или в сочетании с ним, в горелку плавильной печи можно подавать практически чистый кислород (O_2) с целью потребления газообразного кислорода (O_2) для сжигания в плавильной печи вместе со второй частью отходящего газа восстановительной печи, содержащего оксид углерода (CO).

Мелкие частицы металлсодержащего сырья в агломератах могут частично восстанавливаться в твёрдом состоянии в плавильной печи.

Расплавленный продукт, образующийся в плавильной печи, может содержать твёрдые частицы, которые захватываются в жидкость. Кроме того, расплавленный продукт может заключать в себе компонент металлсодержащего сырья, компонент частично восстановленного металлсодержащего сырья, компонент непрореагировавшего восстановителя и компонент флюса.

Восстановительная печь может представлять собой любую печь, выбранную из группы, состоящей из дуговой печи, питаемой постоянным током через щётки; дуговой печи, питаемой переменным током через щётки, и дуговой печи, питаемой постоянным током.

Дуговая печь, питаемая через щётки, представляет собой электрическую печь, электроды которой образуют наверху содержимого печи дугу малой длины, как правило, не длиннее 100 мм.

Данный процесс может включать дополнительную стадию подачи восстановителей в восстановительную печь. Восстановители могут представлять собой один из материалов, выбранных из группы, состоящей из антрацита, угля, кокса и их сочетаний.

Плавильная печь может являться ваграночной печью на газовом топливе (т.е. безкоксовой ваграночной печью). В качестве альтернативы, плавильная печь может являться шахтной печью.

Данный процесс может включать дополнительную стадию удаления в мокром скруббере твёрдых частиц из отходящего газа восстановительной печи, содержащего оксид углерода (CO), перед подачей его в качестве газа-восстановителя и топливного газа в горелку плавильной печи.

Согласно второму аспекту настоящего изобретения, предлагается способ плавки металлсодержащего сырья, включающий следующие стадии:

подают агломераты, содержащие мелкие частицы металлсодержащего сырья, мелкие частицы восстановителя и мелкие частицы флюса в плавильную печь с образованием в ней уплотнённого слоя агломератов;

подают отходящий газ восстановительной печи, содержащий оксид углерода (CO), в плавильную печь;

пропускают первую часть отходящего газа, содержащего оксид углерода (CO), через уплотнённый слой агломератов для частичного восстановления, по меньшей мере, некоторых мелких частиц металлсодержащего сырья;

подают источник газообразного кислорода (O₂) в горелку плавильной печи;

сжигают вторую часть отходящего газа, содержащего оксид углерода (CO), в качестве топливного газа при помощи горелки плавильной печи для нагревания агломератов в плавильной печи до температуры, превышающей 1000°C, и расплавления за счёт этого агломератов в плавильной печи с образованием расплавленного продукта;

подают расплавленный продукт в восстановительную печь и

выплавляют расплавленный продукт с образованием жидкого металлического продукта, жидкого шлакового продукта и отходящего газа, содержащего оксид углерода (CO), который подают в плавильную печь.

Согласно третьему аспекту настоящего изобретения, предлагается способ плавки металлсодержащего сырья, включающий следующие стадии:

подают агломераты, содержащие мелкие частицы металлсодержащего сырья, мелкие частицы восстановителя и мелкие частицы флюса в плавильную печь с образованием в ней уплотнённого слоя агломератов;

подают первую часть отходящего газа восстановительной печи, содержащего оксид углерода (CO), в плавильную печь;

пропускают первую часть отходящего газа, содержащего оксид углерода (CO), через уплотнённый слой агломератов для частичного восстановления, по меньшей мере, некоторых мелких частиц металлсодержащего сырья;

подают источник газообразного кислорода (O₂) в горелку плавильной печи;

подают вторую часть отходящего газа восстановительной печи, содержащего оксид углерода (CO), в горелку плавильной печи;

сжигают вторую часть отходящего газа, содержащего оксид углерода (CO), в качестве топливного газа при помощи горелки плавильной печи для нагревания агломератов в плавильной печи до температуры, превышающей 1000°C, и расплавления за счёт этого агломератов в плавильной печи с образованием расплавленного продукта;

подают расплавленный продукт в восстановительную печь и

выплавляют расплавленный продукт с образованием жидкого металлического продукта, жидкого шлакового продукта и отходящего газа, содержащего оксид углерода (CO), который подают в плавильную печь и горелку плавильной печи, соответственно.

Краткое описание чертежа

Чертеж представляет собой схему системы изобретения, при помощи которой воплощается способ данного изобретения.

Осуществление изобретения

Со ссылкой на чертеж отметим, что система для плавки металлсодержащего сырья согласно способу данного изобретения обозначена в целом позицией 10.

Система 10 включает в себя плавильную печь 20, которая имеет горелку 22. Система 10 включает в себе также восстановительную печь 30. Труба 40 простирается между восстановительной печью 30 и горелкой 22 плавильной печи 20 для подачи отходящего газа восстановительной печи 30, содержащего оксид углерода (СО), в качестве газа-восстановителя и топливного газа в горелку 22 плавильной печи 20.

Агломераты (не показано), содержащие мелкие частицы металлсодержащего сырья, мелкие частицы восстановителя и мелкие частицы флюса подают в плавильную печь 20 с образованием в ней уплотнённого слоя агломератов (не показано). Агломераты обычно подают в плавильную печь 20 через шлюз (не показано). Технологический поток (I) на чертеж указывает на стадию подачи агломератов в плавильную печь 20. Флюс способствует активированию плавления мелких частиц металлсодержащего сырья в агломератах. Агломерат, который подают в плавильную печь 20, как правило, принимает форму брикета, окатыша или экструдата.

Частицы агломератов обычно имеют диаметр 0,1 мм или меньше.

Восстановители также подают в плавильную печь 20 независимо от агломератов. Восстановителями, как правило, являются кокс, уголь или антрацит.

Частицы восстановителей обычно имеют диаметр 6 мм или меньше.

Мелкие частицы металлсодержащего сырья, как правило, являются мелкими частицами руды или мелкими частицами оксидов металлов.

Уплотнённый слой агломератов обычно располагается наверху слоя тугоплавких материалов (не показан). Слой тугоплавких материалов, в свою очередь, располагается поверх охлаждаемой водой колосниковой решётки 24 плавильной печи 20. Охлаждаемая водой колосниковая решётка 24 покрыта тугоплавким материалом для уменьшения потери тепла и защиты охлаждаемой водой колосниковой решётки 24. Камера 26 сгорания плавильной печи 20 располагается под охлаждаемой водой колосниковой решёткой 24, которая покрыта тугоплавким материалом. Горелка 22 выполнена с возможностью сжигания второй части отходящего газа восстановительной печи 30, содержащего оксид углерода (СО), вместе с воздухом для горения в камере 26 сгорания плавильной печи 20 для нагревания агломератов до температуры, превышающей 1000°C и расплавления за счёт этого агломератов с образованием расплавленного продукта. Воздух для горения подают в горелку 22 плавильной печи 20, что показано на чертеже в виде технологического потока (II). Воздух для горения, как правило, предварительно нагревают в подогревателе 70 перед его подачей в горелку 22 плавильной печи 20. Воздух для горения обычно нагревают до температуры 800°C в подогревателе 70. В качестве альтернативы воздуху для горения или в сочетании с ним, в горелку 22 плавильной печи 20 можно подавать кислород.

В качестве дополнительной альтернативы или в сочетании с вышеупомянутым, где для достижения желаемой температуры и поддержания восстановительной атмосферы внутри плавильной печи 20 требуется дополнительная внешняя энергия, в горелку 22 из источника 72 можно подавать внешний топливный газ в форме сингаза или природного газа. Было обнаружено, что такой внешний топливный газ может требоваться, когда агломераты содержат феррохром.

Такой внешний топливный газ также может помочь на фазе запуска процесса.

Первую часть отходящего газа восстановительной печи 30, содержащего оксид углерода (СО), пропускают через уплотнённый слой агломератов для частичного восстановления, по меньшей мере, некоторых мелких частиц металлсодержащего сырья, находящихся в агломератах в твёрдом состоянии.

С учётом вышесказанного, мелкие частицы металлсодержащего сырья в агломератах вначале частично восстанавливают в твёрдом состоянии в плавильной печи 20, а затем расплавляют с образованием расплавленного продукта. Расплавленный продукт включает в себе компонент металлсодержащего сырья, компонент частично восстановленного металлсодержащего сырья, компонент непрореагировавшего восстановителя и компонент флюса.

Для регулирования скорости потока воздуха для горения или газообразного кислорода (O₂), поступающего в горелку 22 плавильной печи 20, предусмотрен клапанный механизм 90. Скорость потока воздуха для горения или газообразного кислорода (O₂), поступающего в горелку 22, регулируют для обеспечения того, чтобы кислород (O₂) являлся ограничивающим реагентом в реакции горения второй части отходящего газа, содержащего оксид углерода (СО). То есть, поток воздуха для горения или кислорода (O₂) регулируют на уровне ниже стехиометрического отношения, требуемого для полного сгорания отходящего газа, содержащего оксид углерода (СО), который подают из восстановительной печи 30 в плавильную печь 20.

В верхней рабочей зоне плавильной печи 20 предусмотрен выпускной патрубок (не показано) для отвода из плавильной печи 20 отходящего газа, который в ней образуется. Стадия отвода из плавильной печи 20 отходящего газа, который в ней образуется, указана на чертеже в виде технологического потока (VI). Отходящий газ, который образуется в плавильной печи 20 и отводится из неё, обычно представляет собой диоксид углерода (CO₂). Содержащий диоксид углерода (CO₂) отходящий газ, который образуется

в плавильной печи 20 и извлекается из неё, пропускают через мешочный фильтр 60 для удаления из газа твёрдых частиц перед выпуском отходящего газа в атмосферу.

Плавильная печь 20 сообщается по текучей среде с восстановительной печью 30 посредством трубы 50. Труба 50 обычно простирается из нижней рабочей зоны плавильной печи 20 (например, из области лётки и выпускного отверстия плавильной печи 20) в восстановительную печь 30. Труба 50 служит для перемещения расплавленного продукта (не показано), который образуется в плавильной печи 20, в восстановительную печь 30. Расплавленный продукт включает в себе компонент металлсодержащего сырья, компонент частично восстановленного металлсодержащего сырья, компонент непрореагировавшего восстановителя и компонент флюса. Труба 50, как правило, является замкнутой трубой и изолируется для предотвращения потерь тепла при перемещении расплавленного продукта из плавильной печи 20 в восстановительную печь 30.

Восстановительная печь 30 может представлять собой одну из следующих: дуговую печь, питаемую постоянным током через щётки; дуговую печь, питаемую переменным током через щётки, или дуговую печь, питаемую постоянным током. Дуговая печь, питаемая через щётки, представляет собой электрическую печь, электроды которой образуют наверху содержимого печи дугу малой длины, как правило, не длиннее 100 мм. Приведённые в виде примеров варианты исполнения дуговой печи, питаемой через щётки, предлагаются в международной заявке на патент № PCT/IB2011/052428, южноафриканском патенте № 2012/04751 и предварительной заявке на южно-африканский патент № 2019/07850. Содержимое трёх указанных документов включено в настоящий документ ссылкой.

На чертеже восстановительная печь 30 имеет форму дуговой печи, питаемой через щётки, имеющей два электрода 32a и 32b, которые простираются от свода 31 восстановительной печи 30 или сквозь него. Электроды 32a и 32b скомпонованы в дуги 33a и 33b сверху содержимого 34 печи. Восстановители (не показано), предназначенные для восстановления частично восстановленных мелких частиц металлсодержащего сырья в расплавленном продукте, подают в восстановительную печь 30, как указано на чертеже в виде технологического потока (III). Восстановителями, как правило, являются антрацит, уголь, кокс или их сочетание.

Содержимое 34 печи включает в себя жидкий шлаковый продукт 34a и жидкий металлический продукт 34b. Содержимое 34 печи образуется в результате взаимодействия при плавке. В ходе взаимодействия при плавке компонент частично восстановленных мелких частиц металлсодержащего сырья расплавленного продукта восстанавливается с образованием жидкого шлакового продукта 34a и жидкого металлического продукта 34b. В ходе взаимодействия при плавке испускается отходящий газ, содержащий оксид углерода (CO).

В восстановительной печи 30 предусмотрено выпускное отверстие (не показано) для перемещения жидкого шлакового продукта 34a из восстановительной печи 30, как показано на фигуре 1 в виде технологического потока (IV). В восстановительной печи 30 предусмотрено дополнительное выпускное отверстие (не показано) для перемещения жидкого металлического продукта 34b из восстановительной печи 30, как показано на чертеже в виде технологического потока (V).

Как уже изложено, труба 40 простирается между восстановительной печью 30 и горелкой 22 плавильной печи 20 для подачи отходящего газа восстановительной печи 30, содержащего оксид углерода (CO), в качестве топливного и восстановительного газа в плавильную печь 20. Отходящий газ, содержащий оксид углерода (CO), можно подавать непосредственно в горелку 22 плавильной печи 20. Более конкретно, труба 40 простирается между верхней рабочей зоной восстановительной печи 30 и горелкой 22 плавильной печи 20. То есть, труба 40 имеет отверстие в восстановительной печи 30, которое располагается выше содержимого 34 восстановительной печи 30.

В качестве альтернативы, первую часть отходящего газа, содержащего оксид углерода (CO), можно подавать в плавильную печь 20, а вторую часть отходящего газа, содержащего оксид углерода (CO), можно подавать в горелку 22 плавильной печи 20.

Как показано на чертеже, предусмотрен мокрый скруббер 80 для удаления загрязнителей из отходящего газа восстановительной печи 30, содержащего оксид углерода (CO). В частности, мокрый скруббер 80 служит для удаления твёрдых частиц из отходящего газа восстановительной печи 30, содержащего оксид углерода (CO), перед его подачей как топливного газа в горелку 22 плавильной печи 20.

При использовании агломераты (не показано), заключающие в себе мелкие частицы металлсодержащего сырья, мелкие частицы восстановителя и мелкие частицы флюса, подают в плавильную печь 20 через шлюз (не показано). Данная стадия указана на чертеже в виде технологического потока (I). Агломераты подают в плавильную печь 20 для образования уплотнённого слоя агломератов на уплотнённом слое тугоплавких материалов (не показано). Уплотнённый слой тугоплавких материалов опирается на покрытую тугоплавким веществом, охлаждаемую водой колосниковую решётку 24 плавильной печи 20.

Подвергнутый мокрой очистке отходящий газ восстановительной печи 30, содержащий оксид углерода (CO), подают в качестве топливного газа и газа-восстановителя в плавильную печь 20 по трубе 40.

Первую часть отходящего газа, содержащего оксид углерода (CO), пропускают через уплотнённый слой агломератов для частичного восстановления, по меньшей мере, некоторых мелких частиц металлсодержащего сырья в твёрдом состоянии.

В горелку 22 плавильной печи 20 подают предварительно нагретый воздух для горения, как показано на чертеже в виде технологического потока (II). Горелка 22 плавильной печи 20 сжигает вторую часть отходящего газа, содержащего оксид углерода (CO), в сочетании с воздухом для горения с целью нагревания уплотнённого слоя тугоплавких материалов в плавильной печи 20. Тугоплавкие материалы, в свою очередь, нагревают агломераты до температуры, превышающей 1000°C, для расплавления за счёт этого агломератов в плавильной печи 20 с образованием расплавленного продукта (не показано). Расплавленный продукт заключает в себе компонент металлсодержащего сырья, компонент частично восстановленного металлсодержащего сырья, компонент непрореагировавшего восстановителя и компонент флюса.

В ходе реакции горения образуется отходящий газ, содержащий диоксид углерода (CO₂). Отходящий газ, содержащий диоксид углерода (CO₂), отводят из плавильной печи 20, как указано в виде технологического потока (VI). Извлечённый отходящий газ, содержащий диоксид углерода (CO₂), пропускают через мешочный фильтр 60 для удаления из него твёрдых частиц перед его выпуском в атмосферу.

Расплавленный продукт стекает вниз через уплотнённый слой тугоплавких материалов и покрытую тугоплавким веществом, охлаждаемую водой колосниковую решётку 24, откуда после этого он перемещается в восстановительную печь 30 по трубе 50.

Расплавленный продукт размещается в восстановительной печи 30, и в восстановительную печь 30 и её содержимое 34 непрерывно подают электрическую энергию при помощи электродов 32a и 32b. Электроды 32a и 32b скомпонованы в дуги 33a и 33b сверху содержимого 34 печи. В восстановительную печь 30 также непрерывно подают восстановитель (не показано), как указано на чертеже в виде технологического потока (III).

Поскольку в восстановительную печь 30 и её содержимое 34 непрерывно подают электрическую энергию и восстановители, частично восстановленные мелкие частицы металлсодержащего сырья и мелкие частицы металлсодержащего сырья, которые не восстановились частично в плавильной печи 20, расплавляются с образованием жидкого металлического продукта 34b и шлака 34a. Жидкий металлический продукт 34b периодически или непрерывно выпускают из восстановительной печи 30 через выпускное отверстие (не показано), как указано на чертеже в виде технологического потока (V). Шлак 34a периодически или непрерывно выпускают из восстановительной печи 30 через выпускное отверстие (не показано), как указано на чертеже в виде технологического потока (IV).

В ходе взаимодействия, протекающего при плавке, испускается отходящий газ, состоящий в основном из оксида углерода (CO). Отходящий газ, содержащий оксид углерода (CO), отводят из восстановительной печи 30 по трубе 40 и подают в мокрый скруббер 80. В мокром скруббере 80 из отходящего газа восстановительной печи 30, содержащего оксид углерода (CO), удаляются загрязнители и материал, состоящий из твёрдых частиц. Затем подвергнутый мокрой очистке отходящий газ восстановительной печи 30, содержащий оксид углерода (CO), подают в качестве топливного газа и газа-восстановителя в плавильную печь 20.

Специалистам в данной области техники будет понятно, что отходящий газ восстановительной печи 30, содержащий оксид углерода (CO), может образовывать компонент топливного газа, который подают в горелку 22 плавильной печи 30.

Способ настоящего изобретения предлагается для эффективного использования энергии, связанной с отходящим газом восстановительной печи, содержащим оксид углерода (CO). При использовании отходящего газа восстановительной печи, содержащего оксид углерода (CO), в качестве топливного газа для горелки плавильной печи и восстановительного газа, заявитель обнаружил, что производительность восстановительной печи может удваиваться. В качестве альтернативы, при использовании отходящего газа восстановительной печи, содержащего оксид углерода (CO), в качестве топливного газа для горелки плавильной печи и восстановительного газа, заявитель обнаружил, что можно существенно уменьшать потребности восстановительной печи в электроэнергии.

Массовый и энергетический балансы, поясняющие на примере преимущества настоящего изобретения.

Ниже следует сопоставление между двумя процессами плавки:

(i) первый, традиционный процесс плавки, в котором используется электрическая дуговая печь, питаемая через щётки; и

(ii) второй процесс плавки, в котором используется способ и система 10 настоящего изобретения.

Первый, традиционный процесс плавки, в котором используется электрическая дуговая печь, питаемая через щётки:

Первый, традиционный процесс представляет собой процесс плавки, в котором для расплавления агломератов используется электрическая дуговая печь, питаемая через щётки. Агломераты принимают форму офлюсованных окатышей и содержат, в массовых процентах, приблизительно:

32,5% Cr₂O₃;
22,6% FeO;
13,4% Al₂O₃;
12,7% CaO;
8,1% MgO;
5,5% SiO₂.

Агломераты подают в электрическую дуговую печь, питаемую через щётки, со скоростью 21,3 т·ч⁻¹. В электрическую дуговую печь, питаемую через щётки, также подают восстановители со скоростью 3,6 т·ч⁻¹. В электрическую дуговую печь, питаемую через щётки, подают 30 МВт электричества с целью обеспечения энергией, требуемой для расплавления оксидов металлов, которые размещаются в агломератах.

Агломераты расплавляются в электрической дуговой печи, питаемой через щётки, с образованием сплавного жидкого продукта и шлакового жидкого продукта.

Сплавной жидкий продукт выпускают из электрической дуговой печи, питаемой через щётки, при температуре 1550°C и со скоростью 7,7 т·ч⁻¹. Сплавной жидкий продукт содержит, в массовых процентах, приблизительно:

50,3% Cr;
38,9% Fe;
6,5% С и
4,0% Si.

Шлаковый жидкий продукт выпускают из электрической дуговой печи, питаемой через щётки, при температуре 1650°C и со скоростью 10,7 т·ч⁻¹. Шлаковый жидкий продукт содержит, в массовых процентах, приблизительно:

11,6% Cr₂O₃;
9,0% FeO;
28,4% Al₂O₃;
25,3% CaO;
16,2% MgO и
7,4% SiO₂.

Отходящий газ отводят из электрической дуговой печи, питаемой через щётки, со скоростью потока 8173 нормальных кубических метра в час и 10 т·ч⁻¹. Отходящий газ имеет температуру 1200°C и содержит, в массовых процентах, приблизительно:

51,4% CO;
7,9% CO₂;
26,5% N₂;
2,7% H₂;
0,1% SO₂ и
11,4% H₂O.

Электрическая дуговая печь, питаемая через щётки, характеризуется коэффициентом использования, равным 0,92. Из электрической дуговой печи, питаемой через щётки, теряются 4 МВт мощности вследствие тепловых потерь.

Питаемая через щётки электрическая дуговая печь указанного первого, традиционного процесса плавки характеризуется удельным расходом электроэнергии, равным 3,81 МВт·ч на метрическую тонну горячего металла.

Второй процесс плавки, в котором используется способ и система настоящего изобретения:

Второй процесс представляет собой процесс плавки, в котором для расплавления агломератов используется способ и система 10 настоящего изобретения. Агломераты принимают форму офлюсованных окатышей и содержат, в массовых процентах, приблизительно:

32,5% Cr₂O₃;
22,6% FeO;
13,4% Al₂O₃;
12,7% CaO;
8,1% MgO и
5,5% SiO₂.

Агломераты подают в плавильную печь 20 со скоростью 36,5 т·ч⁻¹. В плавильной печи 20 агломераты образуют уплотнённый слой агломератов. В плавильную печь также подают восстановители со скоростью 0,6 т·ч⁻¹.

Газ, отходящий из восстановительной печи 30, который образуется в электрической дуговой печи 30, питаемой через щётки, пропускают через мокрый скруббер 80 и подают при температуре 50°C со скоростью 10,88 т·ч⁻¹ в плавильную печь 20. Газ, отходящий из электрической дуговой печи 30, питаемой через щётки, содержит, в массовых процентах, приблизительно:

58,5% CO;
27,1% N₂;
13,6% H₂;
0,1% SO₂ и
0,7% H₂O.

Воздух для горения предварительно нагревают до температуры 800°C и подают со скоростью 69,2 т·ч⁻¹ в горелку 22 плавильной печи 20.

Первую часть отходящего газа, содержащего оксид углерода (CO), пропускают через уплотнённый слой агломератов для частичного восстановления, по меньшей мере, некоторых мелких частиц металлсодержащего сырья.

Вторую часть оксида углерода (CO), содержащегося в отходящем газе, сжигают при помощи горелки 22 и нагревают уплотнённый слой агломератов до температуры 1500°C в плавильной печи 20 с образованием расплавленного продукта и отходящего газа плавильной печи. Расплавленный продукт имеет температуру 1500°C и перемещается из плавильной печи 20 в электрическую дуговую печь 30, питаемую через щётки, со скоростью 33,8 т·ч⁻¹. Расплавленный продукт заключает в себе 50% твёрдых веществ и содержит, в массовых процентах, приблизительно:

35,2% Cr₂O₃;
7,3% FeO;
13,3% Fe;
14,6% Al₂O₃;
13,7% CaO;
8,8% MgO; и
6% SiO₂.

Отходящий газ плавильной печи отводят из плавильной печи 20 со скоростью потока 34233 нормальных кубических метра в час и 47,4 т·ч⁻¹. Отходящий газ плавильной печи отводится из плавильной печи 20 при температуре 500°C и содержит, в массовых процентах, приблизительно:

21,7% CO₂;
4,8% O₂;
66,5 N₂ и
6,9% H₂O.

Как уже изложено, расплавленный продукт перемещают из плавильной печи 20 в электрическую дуговую печь 30, питаемую через щётки, со скоростью 33,8 т·ч⁻¹. В электрическую дуговую печь 30, питаемую через щётки, также подают восстановители со скоростью 6,3 т·ч⁻¹. В электрическую дуговую печь 30, питаемую через щётки, подают 30 МВт электричества с целью обеспечения энергией, требуемой для расплавления оксидов металлов, которые размещаются в расплавленном продукте.

Расплавленный продукт сплавляется в электрической дуговой печи 30, питаемой через щётки, с образованием сплавного жидкого продукта и шлакового жидкого продукта.

Сплавной жидкий продукт выпускают из электрической дуговой печи 30, питаемой через щётки, при температуре 1550°C и со скоростью 14,2 т·ч⁻¹. Сплавной жидкий продукт содержит, в массовых процентах, приблизительно:

50,3% Cr;
40,5% Fe;
8% C и
1% Si.

Шлаковый жидкий продукт выпускают из электрической дуговой печи 30, питаемой через щётки, при температуре 1650°C и со скоростью 17,8 т·ч⁻¹. Шлаковый жидкий продукт содержит, в массовых процентах, приблизительно:

8% Cr₂O₃;
5% FeO;
29,5% Al₂O₃;
26,1% CaO;
16,7% MgO и
12,6% SiO₂.

Отходящий газ отводят из электрической дуговой печи 30, питаемой через щётки, со скоростью потока 12460 нормальных кубических метров в час и 13,6 т·ч⁻¹. Отходящий газ имеет температуру 1400°C и содержит, в массовых процентах, приблизительно:

58,5% CO;
27,1% N₂;
13,6% H₂;
0,1% SO₂ и
0,7% H₂O.

80 мас.% отходящего газа электрической дуговой печи 30, питаемой через щётки, подают в качестве топливного и восстановительного газа в плавильную печь 20, где его используют, как описано выше.

Электрическая дуговая печь 30, питаемая через щётки, характеризуется коэффициентом использования, равным 0,92. Из электрической дуговой печи 30, питаемой через щётки, теряются 4 МВт мощности вследствие тепловых потерь.

Питаемая через щётки электрическая дуговая печь 30 системы 10 характеризуется удельным расходом электроэнергии, равным 2,07 МВт·час на метрическую тонну горячего металла.

Специалистам в данной области техники будет понятно, что снижение удельного расхода электроэнергии в электрической дуговой печи, питаемой через щётки, с 3,81 МВт-час на метрическую тонну горячего металла до 2,07 МВт-час на метрическую тонну горячего металла является значительным. Указанное значительное снижение является прямым следствием соответствующего настоящему изобретению нового и изобретательского применения энергии, связанной с отходящим газом восстановительной печи, содержащим оксид углерода (CO).

Специалистам в данной области техники будет понятно, что данное изобретение не ограничивается точными подробностями, изложенными в настоящем документе, и что возможны многие изменения без отступления от объёма изобретения. По своему существу настоящее изобретение распространяется на все функционально эквивалентные процессы, способы и области применения, которые находятся в пределах его объёма.

Данное описание представлено в виде примера только ввиду обеспечения того, чтобы, как предполагается, оно являлось наиболее полезным и легко воспринимаемым описанием принципов и концептуальных аспектов настоящего изобретения. В связи с этим, не было предпринято ни одной попытки показать его более подробно, чем это необходимо для фундаментального понимания данного изобретения. Слова, которые употреблялись в настоящем документе, являются словами описания и иллюстрации, а не словами ограничения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ плавки металлосодержащего сырья, включающий следующие стадии:
 - подают агломераты, содержащие мелкие частицы металлосодержащего сырья, мелкие частицы восстановителя и мелкие частицы флюса в плавильную печь с образованием в ней уплотнённого слоя агломератов;
 - подают отходящий газ восстановительной печи, содержащий оксид углерода (CO), в горелку плавильной печи;
 - пропускают первую часть указанного отходящего газа, содержащего оксид углерода (CO), через уплотнённый слой агломератов для частичного восстановления, по меньшей мере, некоторых мелких частиц металлосодержащего сырья;
 - подают источник газообразного кислорода (O₂) в горелку плавильной печи;
 - сжигают вторую часть указанного отходящего газа, содержащего оксид углерода (CO), в качестве топливного газа при помощи горелки плавильной печи для нагревания агломератов в плавильной печи до температуры, превышающей 1000°C, и расплавления за счёт этого агломератов в плавильной печи с образованием расплавленного продукта;
 - подают расплавленный продукт в восстановительную печь и
 - выплавляют расплавленный продукт с образованием жидкого металлического продукта, жидкого шлакового продукта и отходящего газа, содержащего оксид углерода (CO), который подают в горелку плавильной печи.
2. Способ по п.1, в котором мелкие частицы металлосодержащего сырья являются мелкими частицами руды.
3. Способ по п.1, в котором мелкие частицы металлосодержащего сырья являются мелкими частицами оксида металла.
4. Способ по любому из пп.1-3, в котором агломерат выбран из группы, состоящей из брикета, окатыша и экструдата.
5. Способ по любому из пп.1-4, в котором осуществляют дополнительную стадию подачи восстановителей в плавильную печь, независимо от агломератов.
6. Способ по любому из пп.1-5, в котором мелкие частицы металлосодержащего сырья частично восстанавливают в твёрдом состоянии в плавильной печи.
7. Способ по любому из пп.1-6, в котором осуществляют дополнительную стадию регулирования объёма источника газообразного кислорода (O₂), который подают в горелку плавильной печи для обеспечения того, чтобы кислород (O₂) являлся ограничивающим реагентом в реакции горения отходящего газа, содержащего оксид углерода (CO), который подают в горелку.
8. Способ по любому из пп.1-7, в котором источник газообразного кислорода (O₂) предварительно нагревают перед его подачей в горелку плавильной печи.
9. Способ по п.8, в котором источник газообразного кислорода (O₂) предварительно нагревают до температуры 800°C.
10. Способ по любому из пп.1-9, в котором восстановительная печь представляет собой любую печь, выбранную из группы, состоящей из дуговой печи, питаемой постоянным током через щётки; дуговой печи, питаемой переменным током через щётки, и дуговой печи, питаемой постоянным током.
11. Способ по любому из пп.1-10, в котором осуществляют дополнительную стадию подачи восстановителей в восстановительную печь.
12. Способ по п.11, в котором восстановители выбраны из группы, состоящей из антрацита, угля, кокса и их сочетаний.

13. Способ по любому из пп.1-12, в котором плавильная печь является ваграночной печью на газовом топливе.

14. Способ по любому из пп.1-12, в котором плавильная печь является шахтной печью.

15. Способ по любому из пп.1-14, в котором осуществляют дополнительную стадию удаления в мокром скруббере твёрдых частиц из отходящего газа восстановительной печи, содержащего оксид углерода (CO), перед его подачей в горелку плавильной печи.

