

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202491234 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2024.09.02

(51) Int. Cl. C22B 13/02 (2006.01)
C22B 5/12 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2022.12.16

(54) ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗНОРУДНОГО МЕТАЛЛА И РЕАКТОР ДЛЯ
УКАЗАННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ

(31) 2151619-0

(32) 2021.12.23

(33) SE

(86) PCT/SE2022/051197

(87) WO 2023/121540 2023.06.29

(71) Заявитель:

ЛУОССАВОРА-КИИРУНАВОРА АБ
(SE)

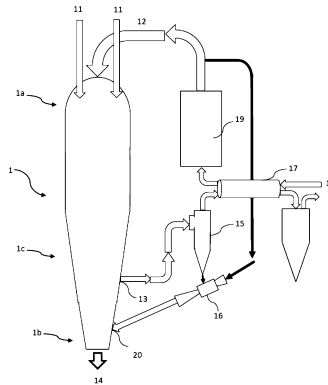
(72) Изобретатель:

Лакдавала Шаббир Тахербхай, Кумар
Телкичерла Камеш Сандип (SE)

(74) Представитель:

Нагорных И.М. (RU)

(57) Реактор восстановления и способ восстановления железнорудного материала до материала восстановленного железа. Причем способ содержит этапы, на которых подают (101) железнорудный материал в реактор (1) восстановления в его верхнем участке (1a), создают гравитационный поток материала в реакторе восстановления от верхнего участка (1a) аксиально вниз по направлению к нижнему участку (1b) реактора (1) восстановления; подают (102) нагретый восстановительный газ в реактор восстановления (1) в верхнем участке (1a) реактора восстановления, так что восстановительный газ создает прямоток с гравитационным потоком материала в реакторе (1) восстановления, и посредством восстановительного газа восстанавливают (103) железнорудный материал до материала восстановленного железа в реакторе восстановления.



A1

202491234

202491234

A1

**ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗНОРУДНОГО МЕТАЛЛА И РЕАКТОР ДЛЯ
УКАЗАННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ
ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ, К КОТОРОЙ ОТНОСИТСЯ ИЗОБРЕТЕНИЕ**

[001] Настоящее раскрытие относится к способу восстановления железнорудного материала до материала восстановленного железа, и к реактору восстановления для восстановления железнорудного материала до материала восстановленного железа.

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

[002] В способах прямого восстановления железа (DRI) восстановление железнорудных окатышей происходит восстановлением кислородным содержащим руды. Для примера, в US3748120 показаны традиционное устройство и способ восстановления оксида железа до металлического железа. Железнорудный материал подают в верхний участок вертикальной печи восстановления шахтного типа и удаляют из нижней части печи. Горячий восстановительный газ, имеющий температуру по меньшей мере около 800 °С, и состоящий по существу из H_2 и CO, добавляют к гравитационному потоку материала в печи через впускное отверстие между впускным отверстием и выпускным отверстием печи, и он течет в противопотоке к окатышам, и выходит из печи в верхней части печи после того, как газ прошел через твердые частицы оксида железа, нагревая и восстанавливая окатыши. Железнорудный материал, например, окатыши, может быть охлажден перед его выпуском из печи.

[003] Фактический выход таких способов в общем составляет около 68-69%. Для увеличения выхода были предприняты различные стратегии совершенствования традиционного DRI вертикальной шахтной печи.

[004] Одним из путей увеличения выхода может быть уменьшение производства мелких фракций в способе. Во время операций по обработке руды, при которых физический износ и разрыв окатышей может приводить к мелким фракциям, мелкие фракции отсеивают через сита, перед тем, как материал входит в печь, тем самым получая меньший выход. Дополнительно, за счет восстановления в шахтной печи, при термическом и технологическом дроблении могут быть получены дополнительные мелкие фракции, выходящие из производственной линии в виде «шлама», тем самым уменьшая выход способа.

[005] В US6132489 представлен способ прямого восстановления, при котором шихту железной руды с крупными частицами и мелкими фракциями обрабатывают в одной вертикальной шахте реактора непрерывно для достижения высоких скоростей металлизации с уменьшенным засорением слоя частиц в реакторе с подвижным слоем. Вертикальный реактор восстановления имеет по меньшей мере одну зону восстановления,

в которой частицы образуют два типа слоев: флюидизированный слой и подвижный слой. Частицы и мелкие фракции вводят в флюидизированный слой. Восстановительный газ при температуре выше около 700 °С направляют вверх через зону восстановления так, что восстановительный газ образует флюидизированный слой с первой порцией частиц и нефлюидизированный слой, где средний размер частиц первой порции меньше среднего размера частиц второй порции. Частицы, содержащие металлическое железо, перетекают из флюидизированного слоя и попадают через выпускную трубу, имеющую впускной конец в верхней части флюидизированного слоя.

[006] В US9273368 показана еще одна стратегия улучшения выхода способа DRI. Здесь окатыш или комок оксида железа, покрытый минеральным раствором, подают в зону предварительного восстановления, переходную зону, зону металлизации и зону охлаждения, при этом пропуская обогащенный топливный газ, получаемый внешним частичным сжиганием с суб-стехиометрическим объемом воздуха, вверх через зону предварительного восстановления в противотоке, так чтобы предварительно нагревать покрытую шихту до температуры в диапазоне около 1000-1300 °С, и частично уменьшать покрытую шихту, и пропуская восстановительный газ вниз через зону металлизации в прямотоке, чтобы завершить восстановление оксида железа до металлического железа.

[007] Хотя были предприняты различные стратегии улучшения способа DRI и печей, все еще остается запрос на улучшенный способ восстановления железнорудного материала до материала восстановленного железа.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[008] Задача настоящего раскрытия заключается в обеспечении способа восстановления железнорудного материала до материала восстановленного железа, который облегчает или преодолевает по меньшей мере некоторые недостатки способов восстановления известного уровня техники. Дополнительная задача заключается в обеспечении реактора восстановления для такого восстановления железнорудного материала.

[009] Изобретение ограничено приложенной независимой патентной формулой изобретения. Неограничивающие варианты выполнения возникают из зависимых пунктов формулы изобретения, прилагаемых чертежей и последующего описания.

[0010] В соответствии с первым аспектом, обеспечивают способ восстановления железнорудного материала до материала восстановленного железа. Способ содержит обеспечение реактора восстановления, подачу железнорудного материала в реактор восстановления в верхнем его участке, и создание гравитационного потока железнорудного материала в реакторе восстановления из верхнего участка аксиально вниз

по направлению к нижнему участку реактора восстановления. Нагретый восстановительный газ подают в реактор восстановления в верхнем участке реактора восстановления, так что восстановительный газ создает прямоток с гравитационным потоком материала в реакторе восстановления. Посредством восстановительного газа, железнорудный материал восстанавливают до материала восстановленного железа в реакторе восстановления. Отработанный восстановительный газ удаляют из реактора восстановления через выпуск газа в нижней секции реактора восстановления, а материал восстановленного железа удаляют из реактора восстановления в нижнем его участке.

[0011] Железнорудный материал, добавляемый в верхний участок реактора восстановления, может быть невосстановленным материалом железной руды, т.е. перед добавлением материала в реактор восстановления не было осуществлено предварительное восстановление.

[0012] Железнорудный материал может быть окатышем железной руды и/или комком железной руды и/или агломератом железной руды. Под окатышами здесь понимают сферы размером, как правило, 6-16 мм или сферы, имеющие диаметр 3-18 мм или 6-18 мм.

[0013] Железнорудный материал, добавляемый в верхнем участке реактора восстановления, образует уплотненный слой материала, опускающийся под действием силы тяжести через реактор восстановления.

[0014] Восстановительный газ создает прямоток с гравитационным потоком железнорудного материала и образованным позднее материалом восстановленного железа в реакторе восстановления.

[0015] Реактор восстановления может быть печью восстановления или вертикальной печью восстановления.

[0016] При подаче в реактор восстановления железнорудный материал может иметь температуру 0-1300 °С. Следовательно, железнорудный материал может быть холодным или нагретым при добавлении. Если он нагрет, то тепловой потенциал/энергия горячего материала может быть использован в реакторе восстановления.

[0017] При подаче в верхний участок реактора восстановления, нагретый восстановительный газ может иметь температуру 500-1000 °С.

[0018] Способ, описываемый выше, представляет собой способ восстановления, которым можно эффективно обрабатывать нагретый железнорудный материал. Так как нагретый железнорудный материал может быть подан в реактор восстановления и переработан в материал восстановленного железа/металлизированный материал, то способ может быть использован/встроен непосредственно после и наряду с установкой

окомкования.

[0019] Для того, чтобы сбалансировать требования к тепловой энергии способа и чтобы получить способ восстановления, который является изотермическим или близким к изотермическому, т.е. способом, который, как ожидается, улучшит скорость восстановления и уменьшит время восстановления, чтобы не было значительного падения температуры во время способа восстановления, а разница между температурой газа под и над слоем железнорудного материала в реакторе должна быть минимальной, температуру добавленного восстановительного газа возможно нужно будет отрегулировать относительно температуры добавленного железнорудного материала.

[0020] Для улучшения выхода способа, выбор температуры должен, предпочтительно, преодолевать низкотемпературное рассеяние во время преобразования бурого железняка в магнетит, которое является наиболее доминирующим/значимым в диапазоне между 450 и 650 °С. Как ожидается, температура выше этого диапазона, во время восстановления/металлизации в реакторе восстановления будет улучшать выход способа восстановления железа. Обходом низкотемпературного рассеяния во время преобразования бурого железняка в магнетит, пропорция фрагментированных твердых веществ, образуемых из железнорудного материала, может быть уменьшена в способе. При меньшем количестве созданных фрагментированных твердых веществ, может быть получен более высокий выход. Здесь под фрагментированными твердыми веществами понимают фрагментированные твердые вещества любой формы и размера, такие как пыль/мелкие фракции/мелкий сыпучий материал, например, меньше около 6 мм.

[0021] В случае холодной подачи сырья, т.е. железнорудного материала, имеющего температуру 200 °С или меньше, соответствующая температура восстановительного газа должна быть равной 950-1000 °С, чтобы отвечать вышеприведенным требованиям.

[0022] Когда температура железнорудного материала, подаваемого в реактор восстановления, высокая, т.е. в диапазоне 1200-1300 °С, то соответствующие температуры восстановительного газа должны быть уменьшены, например, до диапазона 400-700 °С, для балансировки таких требований к энергии способа.

[0023] С помощью вышеупомянутого способа, скорость способа восстановления можно увеличить по сравнению с способами известного уровня техники, что приведет к конструкции реактора восстановления, который может быть малообъемным реактором с высокой пропускной способностью. Тогда выход будет непосредственно зависеть от выбора температуры железнорудного материала и температуры восстановительного газа.

[0024] Подача восстановительного газа в верхний участок реактора восстановления, чтобы имелся прамоток нагретого газа и материала через реактор, дает

более эффективный способ восстановления и способ восстановления, который может быть ускорен и требует меньшего времени для завершения по сравнению с традиционными способами восстановления. Посредством настоящего способа, полученное восстановление/металлизация может быть 94% или более. Дополнительно, может быть использован реактор восстановления меньшего размера/более короткий, чем тот, который в настоящее время является стандартным.

[0025] Если восстановительный газ входит в верхний участок реактора восстановления, то на фрагментированные твердые вещества может быть потеряно меньше материала по сравнению с тем, если газ входит в верхней части реактора восстановления, поскольку низкотемпературное рассеяние является наиболее преобладающим в верхней части реактора восстановления. С меньшим количеством созданных фрагментированных твердых веществ, это приводит к более высокому выходу.

[0026] Отработанный восстановительный газ, удаляемый из реактора восстановления, может иметь температуру 600-900 °С.

[0027] Материал восстановленного железа/металлизированный материал, удаляемый из реактора восстановления, может иметь температуру 600-850 °С.

[0028] Нижняя секция продолжается от нижнего участка до среднего участка реактора восстановления. Выпуск газа реактора восстановления может быть расположен в нижнем участке реактора восстановления. Альтернативно, при рассмотрении по направлению гравитационного потока материала в реакторе восстановления, выпуск газа может быть расположен в участке/секции реактора восстановления, расположенном над или сразу над нижним участком реактора восстановления.

[0029] При подаче в реактор восстановления железнорудный материал может иметь температуру 0-1300 °С.

[0030] Железнорудный материал может иметь температуру 0-1300 °С, или 30-1300 °С, или 100-1300 °С, или 200-1300 °С, или 300-1300 °С, или 400-1300 °С, или 500-1300 °С, или 600-1300 °С, или 700-1300 °С, или 800-1300 °С, или 900-1300 °С, или 1000-1300 °С, или 1100-1300 °С, или 1200-1300 °С, или 0-1200 °С, или 0-1100 °С, или 0-1000 °С, или 0-900 °С, или 0-800 °С, или 0-700 °С, или 0-600 °С, или 0-500 °С, или 0-400 °С, или 0-300 °С, или 0-200 °С, или 0-100 °С, или 500-900 °С, или 800-1100 °С, предпочтительно ≥ 800 °С.

[0031] При подаче в реактор восстановления, восстановительный газ может иметь температуру 500-1000 °С.

[0032] Температура восстановительного газа, предпочтительно, может быть равной 500-900 °С. Как обсуждалось выше, выбор температуры восстановительного газа зависит от температуры железнорудного материала, добавляемого в реактор восстановления.

[0033] В случае холодного железнорудного материала, необходимая температура восстановительного газа будет выше, в диапазоне 950-1000 °С. Для получения такой высокой температуры может потребоваться впрыскивание кислорода в восстановительный газ. При более низких температурах, впрыскивание кислорода может не понадобиться. Дополнительно, восстановительный потенциал не уменьшается. Как ожидается, отсутствие системы впрыскивания кислорода сократит потерю значительного количества восстановительного газа из-за окисления для достижения высоких температур газа.

[0034] Температура отработанного восстановительного газа, удаляемого из реактора восстановления, может быть равна по меньшей мере 600 °С, а температура материала восстановленного железа, удаляемого из реактора восстановления, может быть равна по меньшей мере 600 °С.

[0035] Если температуры отработанного восстановительного газа и материала восстановленного железа, удаляемого из реактора восстановления, равны по меньшей мере 600 °С, то восстановление/металлизация происходит в реакторе восстановления при температуре, выше критического низкотемпературного рассеяния во время преобразования бурого железняка в магнетит, которая является наиболее преобладающей/значимой в диапазоне 450-650 °С.

[0036] Так как температура удаляемого материала восстановленного железа составляет по меньшей мере 600 °С, то этот горячий материал восстановленного железа может быть загружен непосредственно в блок последующей обработки, который может сохранять значительное количество тепловой энергии при этом последующем способе.

[0037] В одном примере, из удаляемого горячего материала восстановленного железа могут быть образованы горячие формованные брикеты. Это приведет к значительному преимуществу способа брикетирования сразу после способа восстановления, где преимущественным фактором физического качества основного брикета является температура подачи в машину для брикетирования. Чем выше температура подачи, тем выше физическое качество брикета с точки зрения плотности и прочности при окатывании.

[0038] Традиционно железнорудный материал, такой как окатыши, покрывают (используя такие материалы, как известняк, доломит и оливин, и бентонит в качестве связующего), чтобы избежать группирования/прилипания во время способа восстановления, если температуры в реакторе выше 900 °С.

[0039] В представленном способе, такого покрытия может не потребоваться для железнорудного материала и может использоваться материал без покрытия. В

представленном способе, после восстановления железнорудного материала, нигде в реакторе нет температуры, которая достигает 900 °С или более. Таким образом, отсутствует или имеется небольшое группирование/прилипание в реакторе за счет мягкого спекания или спекания железа к железу восстановленного материала, а, следовательно, отсутствует или имеется небольшое группирование/прилипание материала в реакторе. Если покрытие не нужно, то железнорудный материал может использоваться сухим или без покрытия. Это сберегает затраты на переработку и эксплуатацию покрытия.

[0040] Восстановительный газ, подаваемый в реактор восстановления, может содержать 90% по объему или более водорода.

[0041] Восстановительный газ, подаваемый в реактор восстановления, может содержать по объему 90% или более H_2 , или по меньшей мере 91%, 92%, 93%, 94%, 95%, 96%, 97%, 98%, или по меньшей мере 99% H_2 , предпочтительно по меньшей мере 97% H_2 . Остальное – H_2O и, возможно, другие газы, подобные N_2 .

[0042] Используя чистый H_2 или близкий к чистому H_2 , скорость восстановления может быть выше, а время восстановления меньше по сравнению с использованием восстановительных газов, содержащих меньшее количество водорода. Это улучшит производительность или пропускную способность способа. Дополнительно, в способе может быть получено меньше фрагментированных твердых веществ. При использовании H_2 имеет место меньшее увеличение в объеме железнорудного материала по сравнению с тем, когда восстановительный газ содержит CO (как в стандартных способах восстановления). Используемый здесь восстановительный газ может не содержать углеродсодержащие газовые компоненты.

[0043] Введение нагретого восстановительного газа в реактор восстановления происходит в точке высокого давления в верхнем участке реактора.

[0044] Железнорудный материал может быть восстановлен до материала железа в реакторе восстановления при изотермическом или близком к изотермическому процессе восстановления.

[0045] Изотермический или близкий к изотермическому процесс восстановления улучшает скорость восстановления и уменьшает время восстановления. В изотермическом процессе восстановления значительное падение температуры во время способа восстановления отсутствует, а разница между температурой газа над и под слоем железнорудного материала в реакторе должна быть минимальной или настолько низкой, насколько это возможно. Чтобы сбалансировать требования к тепловой энергии способа, и чтобы получить изотермический или близкий к изотермическому процесс восстановления, температуру добавленного восстановительного газа, возможно, нужно будет

отрегулировать относительно температуры добавленного железнорудного материала. В одном примере, температура восстановительного газа, подаваемого в реактор восстановления, может составлять около 900 °С, а температура железнорудного материала, подаваемого в реактор восстановления, может составлять 800 °С.

[0046] Сухие фрагментированные твердые вещества могут быть отделены от отработанного восстановительного газа, удаляемого из реактора восстановления, и повторно введены в реактор восстановления во впуск фрагментированных твердых веществ, обеспеченный в точке ниже выпуска газа реактора восстановления при рассмотрении по направлению гравитационного потока материала в реакторе восстановления.

[0047] Ожидается, что повторное впрыскивание сухих фрагментированных твердых веществ улучшит выход материала/твердого вещества в способе.

[0048] В соответствии со вторым аспектом, обеспечивают реактор восстановления для восстановления железнорудного материала до материала восстановленного железа. Реактор восстановления содержит впуск материала, расположенный в верхнем участке реактора восстановления, выполненный с возможностью подавать железнорудный материал в реактор восстановления, впуск газа, расположенный в верхнем участке реактора восстановления, выполненный с возможностью подавать нагретый восстановительный газ в реактор восстановления, при этом реактор восстановления, впуск материала и впуск газа расположены так, что материал, подаваемый через впуск материала, и восстановительный газ, подаваемый через впуск газа, создают прямоток из верхнего участка аксиально вниз по направлению к нижнему участку реактора восстановления, так что железнорудный материал восстанавливается в реакторе восстановления. Выпуск газа расположен в нижней секции реактора восстановления и выполнен с возможностью удалять отработанный восстановительный газ из реактора восстановления, а выпуск материала расположен в нижнем участке реактора восстановления и выполнен с возможностью удалять материал восстановленного железа из реактора восстановления.

[0049] Отработанный восстановительный газ удаляют из реактора восстановления через выпуск газа. Это точка низкого давления в реакторе восстановления. Выпуск газа предпочтительно выполнен с возможностью/сконструирован соответствующим образом, чтобы избежать переноса фрагментированных твердых веществ, таких как мелкие фракции/пыль/окатыши, в отработанный восстановительный газ.

[0050] Реактор восстановления может дополнительно содержать сепаратор, расположенный в выпуске газа/после него, для отделения сухих фрагментированных

твердых веществ от отработанного восстановительного газа.

[0051] Реактор восстановления может дополнительно содержать устройство для рециркуляции твердых веществ, расположенное в соединении с сепаратором, и выполненное с возможностью повторно вводить сухие фрагментированные твердые вещества, отделенные от отработанного восстановительного газа, в реактор восстановления во впуск фрагментированных твердых веществ, расположенный в точке ниже, при рассмотрении по направлению гравитационного потока материала в реакторе восстановления, выпуска отработанного восстановительного газа.

[0052] Отделенные сухие фрагментированные твердые вещества могут быть повторно введены в реактор восстановления посредством отражателя устройства для рециркуляции.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

[0053] На фиг. 1 проиллюстрирован новый реактор восстановления.

[0054] На фиг. 2 схематично проиллюстрирован способ восстановления железнорудного материала до материала восстановленного железа.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ

[0055] Для улучшения способов восстановления железной руды и реакторов, используемых для таких восстановлений, были предприняты различные стратегии. Ниже описан способ и реактор восстановления, в котором скорость восстановления может быть выше, степень металлизация улучшена и увеличен выход материала/твердого вещества способа, по сравнению со стандартными способами восстановления. Способ и реактор восстановления могут быть дополнительно выполнены с возможностью эффективно перерабатывать горячий железнорудный материал. Таким образом, горячий железнорудный материал, например, окатыш, может быть добавлен в реактор восстановления непосредственно из установки окомкования.

[0056] На фиг. 1 проиллюстрирован такой новый реактор 1 восстановления, а на фиг. 2 способ восстановления железнорудного материала, такого как окатыш железной руды и/или комков железной руды и/или агломерат железной руды, до материала восстановленного железа. Обеспечиваемый 100 реактор 1 восстановления имеет впуск 11 материала, расположенный в верхнем участке 1a реактора восстановления, выполненный с возможностью подавать 101 железнорудный материал в реактор восстановления. Железнорудный материал, добавляемый в верхнем участке реактора восстановления, может иметь температуру 0-1300 °С и образует уплотненный слой материала, опускающийся под действием силы тяжести через реактор восстановления из верхнего участка 1a по направлению к нижнему участку 1b. Впуск 12 газа расположен в верхнем

участке 1a реактора 1 восстановления и выполнен с возможностью подавать 102 нагретый восстановительный газ, имеющий температуру 500-1000 °С, в реактор 1 восстановления. Восстановительный газ, подаваемый в реактор восстановления, может содержать 90% по объему или более H_2 , предпочтительно 97% или более H_2 . Остальное – H_2O и, возможно, другие газы, такие как N_2 .

[0057] Материал, подаваемый через выпуск 11 материала, и восстановительный газ, подаваемый через выпуск 12 газа, создают прямоток от верхнего участка 1a аксиально вниз по направлению к нижнему участку 1b реактора 1 восстановления, чтобы железнорудный материал был восстановлен 103 в реакторе восстановления. Выпуск 13 газа, расположенный в нижней секции 1c реактора 1 восстановления, выполнен с возможностью удалять 104 отработанный восстановительный газ из реактора 1 восстановления. Выпуск 14 материала, расположенный в нижнем участке 1b реактора 1 восстановления, выполнен с возможностью удалять 105 материал восстановленного железа из реактора 1 восстановления. Выпуск 20 фрагментированных твердых веществ расположен в точке ниже, при рассмотрении в направлении гравитационного потока материала в реакторе восстановления, выпуска 13 газа реактора восстановления.

[0058] Для того, чтобы сбалансировать требования к тепловой энергии способа, и чтобы получить изотермический или близкий к изотермическому процесс восстановления в реакторе 1 восстановления, температуру восстановительного газа, добавляемого в реактор, возможно, нужно будет отрегулировать относительно температуры добавляемого железнорудного материала. Как ожидается, изотермический процесс даст более управляемую реакцию восстановления, чем не изотермический процесс, и улучшит скорость восстановления и уменьшит время восстановления. При изотермическом процессе восстановления значительное падение температуры во время способа восстановления отсутствует, а разница между температурой газа над и под слоем железнорудного материала в реакторе должна быть минимальной.

[0059] Низкотемпературное рассеяние во время преобразования бурого железняка в магнетит является наиболее доминирующим/значимым между 450 и 650 °С. Температура выше этого диапазона во время восстановления/металлизации в реакторе восстановления, как ожидается, улучшит выход способа восстановления железа.

[0060] Чтобы выполнить это требование, отработанный восстановительный газ, удаляемый 104 из реактора восстановления, может иметь температуру 600-900 °С, а материал восстановленного железа/металлизированный материал, удаляемый 105 из реактора 1 восстановления, может иметь температуру 600-850 °С.

[0061] В случае холодной подачи сырья, т.е. железнорудного материала, имеющего

температуру 200 °С или меньше, соответствующая температура восстановительного газа должна быть равна 950-1000 °С, чтобы отвечать вышеприведенным требованиям. Когда температура железнорудного материала, подаваемого в реактор восстановления, высокая, т.е. в диапазоне 1200-1300 °С, то соответствующие температуры восстановительного газа должны быть уменьшены, например, до диапазона 400-700 °С, для балансировки таких требований к энергии способа.

[0062] Номинальное рабочее давление в реакторе восстановления может быть в диапазоне около 1–7 бар, если рассматривать экономную/компактную конструкцию способов восстановления.

[0063] После удаления 105 восстановленного материала из реактора восстановления 1, способ может содержать дополнительный этап, на котором охлаждают восстановленный/металлизированный материал.

[0064] Сухие фрагментированные твердые вещества могут быть отделены 104b от отработанного восстановительного газа, удаляемого 104 из реактора 1 восстановления, посредством сепаратора 15, расположенного в выпуске 13 восстановительного газа или после него. Затем отделенные сухие фрагментированные твердые вещества могут быть повторно введены 104с в реактор 1 восстановления во впуск 20 фрагментированных твердых веществ, расположенный в точке под выпуском 13 газа. Сухие фрагментированные твердые вещества, такие как мелкие фракции/пыль/окатыши, могут быть отделены от отработанного восстановительного газа посредством, например, сухого циклонного сепаратора или перегородчатого сепаратора 15. Как ожидается, сухие фрагментированные твердые вещества, извлекаемые из отработанного восстановительного газа, будут иметь высокое содержание железа и будут абразивными по природе, с большим коэффициентом трения. Для облегчения бесперебойной рециркуляции извлеченных твердых веществ в нижний участок реактора восстановления, может использоваться отражатель 16 устройства для рециркуляции.

[0065] Отделение сухих фрагментированных твердых веществ от отработанного восстановительного газа может быть этапом предварительного очищения/отделения газа перед тем, как газ продвинется к следующему блоку переработки. Тепло от отработанного восстановительного газа может быть извлечено через межгазовый теплообменник 17 использованием холодного восстановительного газа 18 на пути к нагревателю восстановительного газа 19, тем самым улучшая тепловую эффективность способа.

[0066] Для рециркуляции сухих фрагментированных твердых веществ, отделенных от отработанного восстановительного газа, обратно в реактор восстановления, в качестве среды впрыскивания может быть использован небольшой поток высокого давления

высокотемпературного восстановительного газа. Затем этот постоянный поток восстановительного газа будет являться движущей силой текучей среды, которая обеспечивает непрерывное функционирование/работу отражателя. Газ для приведения в движение/работы отражателя твердых веществ может быть приведен в движение альтернативным газом, таким как азот, если рециркулируемые твердые вещества отведены в альтернативную/внешнюю систему. Как ожидается, твердые вещества в этой замкнутой петле, не будут увеличиваться или накапливаться со временем, поскольку скорость выхода потока большого объема восстановленного материала в нижнем участке реактора восстановления, как ожидается, унесет извлеченные фрагментированные твердые вещества в продукт, и предотвратит накопление/восходящий поток.

[0067] Вышеописанный способ и реактор восстановления были смоделированы для разных температур материала и температур газа, используя программное обеспечение HSC Chemistry®. В Таблице 1 приведены различные смоделированные параметры и значения, используемые при моделированиях.

Таблица 1

	Испытание 1	Испытание 2	Испытание 3	Испытание 4
Массовый расход окатышей (тонн/ч)	1,410	1,410	1,410	1,410
Температура подачи окатышей (°C)	1300	800	200	0
Температура восстановительного газа в реактор (°C)	685	900	950	1000
Композиция восстановительного газа, % H ₂	97	97	97	97
Композиция восстановительного газа, % H ₂ O	3	3	3	3
Температура газа из реактора (°C)	810	821	660	642
Температура восстановленного материала (°C)	810	820	660	642
Металлизация восстановленного материала, %	94	94	94	94
Восстановленный материал из реактора (тонн)	1,016	1,016	1,016	1,016

[0068] В этих моделированиях железнорудный материал, подаваемый в реактор восстановления, был железом или окатышем стандартной формы и композиции,

используя массовый расход 1410 тонн/ч. Температура окатышей, подаваемых при входе в реактор восстановления, была установлена до 1300 °С, 800 °С, 200 °С и 0 °С, соответственно, а температура восстановительного газа при входе в реактор восстановления была установлена до 685 °С, 900 °С, 950 °С и 1000 °С, соответственно. При подаче в реактор, смоделированный газ имел композицию из 97% Н₂ и 3% Н₂О. Затем температура выходного материала была 810 °С, 820 °С, 660 °С и 642 °С, соответственно, а температура отработанного восстановительного газа 810 °С, 821 °С, 660 °С и 642 °С, соответственно. С такими оптимизированными параметрами скорость металлизации восстановленного материала была рассчитана равной 94%.

[0069] Значения параметров, используемых в испытании 2: температура подачи окатышей 800 °С, а температура восстановительного газа 900 °С при подаче в реактор, как ожидается, дадут изотермический или близкий к изотермическому процесс восстановления и низкий уровень низкотемпературного рассеяния, как обсуждалось выше. Значения параметров, используемых в других испытаниях, хотя и дают удовлетворительные уровни металлизации восстановленного материала, могут не давать высокий выход или такую высокую скорость восстановления, какая может быть получена со значениями параметров, используемыми для испытания 2.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ восстановления железнорудного материала до материала восстановленного железа, способ содержит этапы, на которых:

обеспечивают (100) реактор (1) восстановления;

подают (101) железнорудный материал в реактор (1) восстановления в верхнем его участке (1a), создают гравитационный поток железнорудного материала в реакторе восстановления от верхнего участка (1a) аксиально вниз по направлению к нижнему участку (1b) реактора (1) восстановления;

подают (102) нагретый восстановительный газ в реактор (1) восстановления в верхнем участке (1a) реактора восстановления, так что восстановительный газ создает прямоток с гравитационным потоком материала в реакторе (1) восстановления;

восстанавливают (103) посредством восстановительного газа железнорудный материал до материала восстановленного железа в реакторе восстановления;

удаляют (104) отработанный восстановительный газ из реактора восстановления через выпуск (13) газа в нижней секции (1c) реактора восстановления, и

удаляют (105) материал восстановленного железа из реактора восстановления в нижнем его участке (1b).

2. Способ по п.1, в котором железнорудный материал при подаче в реактор (1) восстановления имеет температуру 0-1300 °С.

3. Способ по п. 1 или 2, в котором восстановительный газ при подаче в реактор восстановления (1) имеет температуру 500-1000 °С.

4. Способ по любому из пп.1-3, в котором температура отработанного восстановительного газа, удаляемого из реактора (1) восстановления, составляет по меньшей мере 600 °С, и температура материала восстановленного железа, удаляемого из реактора (1) восстановления, составляет по меньшей мере 600 °С.

5. Способ по любому из пп. 1-4, в котором восстановительный газ, подаваемый в реактор восстановления, содержит 90% по объему или более водорода.

6. Способ по любому из пп. 1-5, в котором железнорудный материал восстанавливают (103) до материала железа в реакторе восстановления при изотермическом или близком к изотермическому процессе восстановления.

7. Способ по любому из пп. 1-6, в котором сухие фрагментированные твердые вещества отделяют (104b) от отработанного восстановительного газа, удаленного (104) из реактора (1) восстановления, и повторно вводят (104c) в реактор (1) восстановления во выпуск (20) фрагментированных твердых веществ, расположенный в точке ниже выпуска (13) газа реактора (1) восстановления при рассмотрении по направлению гравитационного

потока материала в реакторе (1) восстановления.

8. Реактор (1) восстановления для восстановления железнорудного материала до материала восстановленного железа, причем реактор (1) восстановления содержит:

впуск (11) материала, расположенный в верхнем участке (1a) реактора восстановления, выполненный с возможностью подачи железнорудного материала в реактор восстановления;

впуск (12) газа, расположенный в верхнем участке (1a) реактора (1) восстановления, выполненный с возможностью подачи нагретого восстановительного газа в реактор восстановления;

при этом реактор (1) восстановления, впуск (11) материала и впуск (12) газа расположены так, что материал, подаваемый через впуск материала, и восстановительный газ, подаваемый через впуск газа, создают прямоток от верхнего участка (1a) аксиально вниз по направлению к нижнему участку (1b) реактора (1) восстановления, так что железнорудный материал подвергается восстановлению в реакторе восстановления;

выпуск (13) газа, расположенный в нижней секции (1c) реактора (1) восстановления и выполненный с возможностью удаления отработанного восстановительного газа из реактора (1) восстановления, и выпуск (14) материала, расположенный в нижнем участке (1b) реактора (1) восстановления и выполненный с возможностью удаления материала восстановленного железа из реактора (1) восстановления.

9. Реактор (1) восстановления по п. 8, дополнительно содержащий сепаратор (15), расположенный в выпуске (13) газа или после него, для отделения сухих фрагментированных твердых веществ от отработанного восстановительного газа.

10. Реактор (1) восстановления по п. 9, дополнительно содержащий устройство (16) для рециркуляции твердых веществ, расположенное в соединении с сепаратором (15) и выполненное с возможностью повторного ввода сухих фрагментированных твердых веществ, отделенных от отработанного восстановительного газа, в реактор (1) восстановления во впуск (20) фрагментированных твердых веществ, расположенный в точке ниже выпуска (13) газа при рассмотрении по направлению гравитационного потока материала в реакторе (1) восстановления.

ИЗМЕНЕННАЯ ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ ПО СТАТЬЕ 34 РСТ

1. Способ восстановления железнорудного материала в виде окатыша железной руды и/или агломерата железной руды до материала восстановленного железа, способ содержит этапы, на которых:

обеспечивают (100) реактор (1) восстановления;

подают (101) железнорудный материал, имеющий температуру 100-1300 °С, в реактор (1) восстановления в верхнем его участке (1a), создают гравитационный поток уплотненного слоя железнорудного материала, опускающийся в реакторе восстановления от верхнего участка (1a) аксиально вниз по направлению к нижнему участку (1b) реактора (1) восстановления;

подают (102) нагретый восстановительный газ в реактор (1) восстановления в верхнем участке (1a) реактора восстановления, так что восстановительный газ создает прямоток с гравитационным потоком материала в реакторе (1) восстановления;

восстанавливают (103) посредством восстановительного газа железнорудный материал до материала восстановленного железа в реакторе восстановления;

удаляют (104) отработанный восстановительный газ из реактора восстановления через выпуск (13) газа в нижней секции (1c) реактора восстановления, и

удаляют (105) материал восстановленного железа из реактора восстановления в нижнем его участке (1b).

2. Способ по п. 1, в котором восстановительный газ при подаче в реактор восстановления (1) имеет температуру 500-1000 °С.

3. Способ по п.1 или 2, в котором температура отработанного восстановительного газа, удаляемого из реактора (1) восстановления, составляет по меньшей мере 600 °С, и температура материала восстановленного железа, удаляемого из реактора (1) восстановления, составляет по меньшей мере 600 °С.

4. Способ по любому из пп. 1-3, в котором восстановительный газ, подаваемый в реактор восстановления, содержит 90% по объему или более водорода.

5. Способ по любому из пп. 1-4, в котором железнорудный материал восстанавливают (103) до материала железа в реакторе восстановления при изотермическом или близком к изотермическому процессе восстановления.

6. Способ по любому из пп. 1-5, в котором сухие фрагментированные твердые вещества отделяют (104b) от отработанного восстановительного газа, удаленного (104) из реактора (1) восстановления, и повторно вводят (104c) в реактор (1) восстановления во впуск (20) фрагментированных твердых веществ, расположенный в точке ниже

выпуска (13) газа реактора (1) восстановления при рассмотрении по направлению гравитационного потока материала в реакторе (1) восстановления.

7. Реактор (1) восстановления для восстановления железнорудного материала в виде окатыша железной руды и/или агломерата железной руды до материала восстановленного железа, причем реактор (1) восстановления содержит:

впуск (11) материала, расположенный в верхнем участке (1a) реактора восстановления, выполненный с возможностью подачи железнорудного материала, имеющего температуру 100-1300 °С, в реактор восстановления;

впуск (12) газа, расположенный в верхнем участке (1a) реактора (1) восстановления, выполненный с возможностью подачи нагретого восстановительного газа в реактор восстановления;

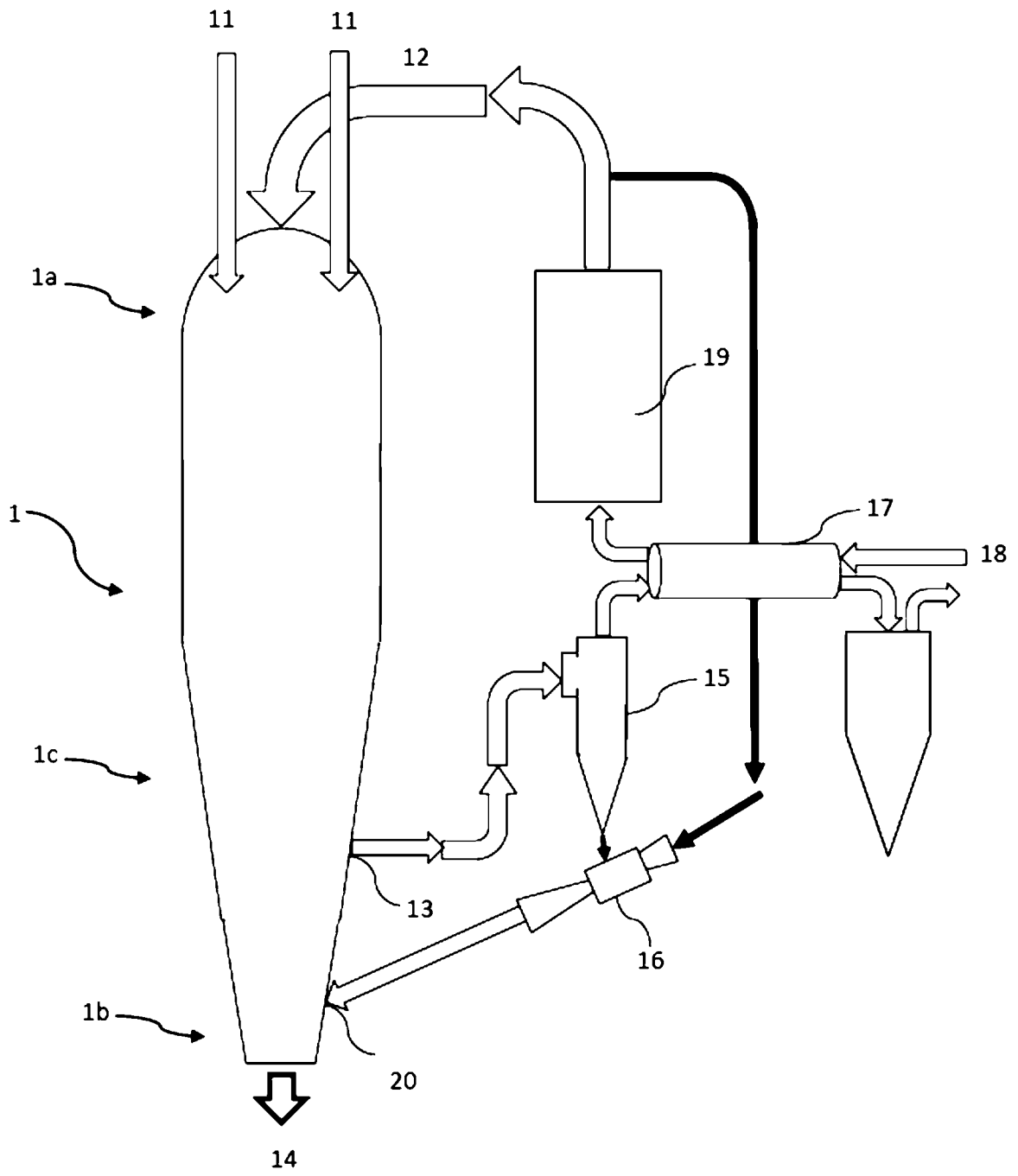
при этом реактор (1) восстановления, впуск (11) материала и впуск (12) газа расположены так, что материал, подаваемый через впуск материала, создает гравитационный поток уплотненного слоя железнорудного материала, опускающийся в реакторе восстановления, и восстановительный газ, подаваемый через впуск газа, создает прямоток с гравитационным потоком материала в реакторе восстановления от верхнего участка (1a) аксиально вниз по направлению к нижнему участку (1b) реактора (1) восстановления (1), так что железнорудный материал подвергается восстановлению в реакторе восстановления;

выпуск (13) газа, расположенный в нижней секции (1c) реактора (1) восстановления и выполненный с возможностью удаления отработанного восстановительного газа из реактора (1) восстановления, и выпуск (14) материала, расположенный в нижнем участке (1b) реактора (1) восстановления и выполненный с возможностью удаления материала восстановленного железа из реактора (1) восстановления.

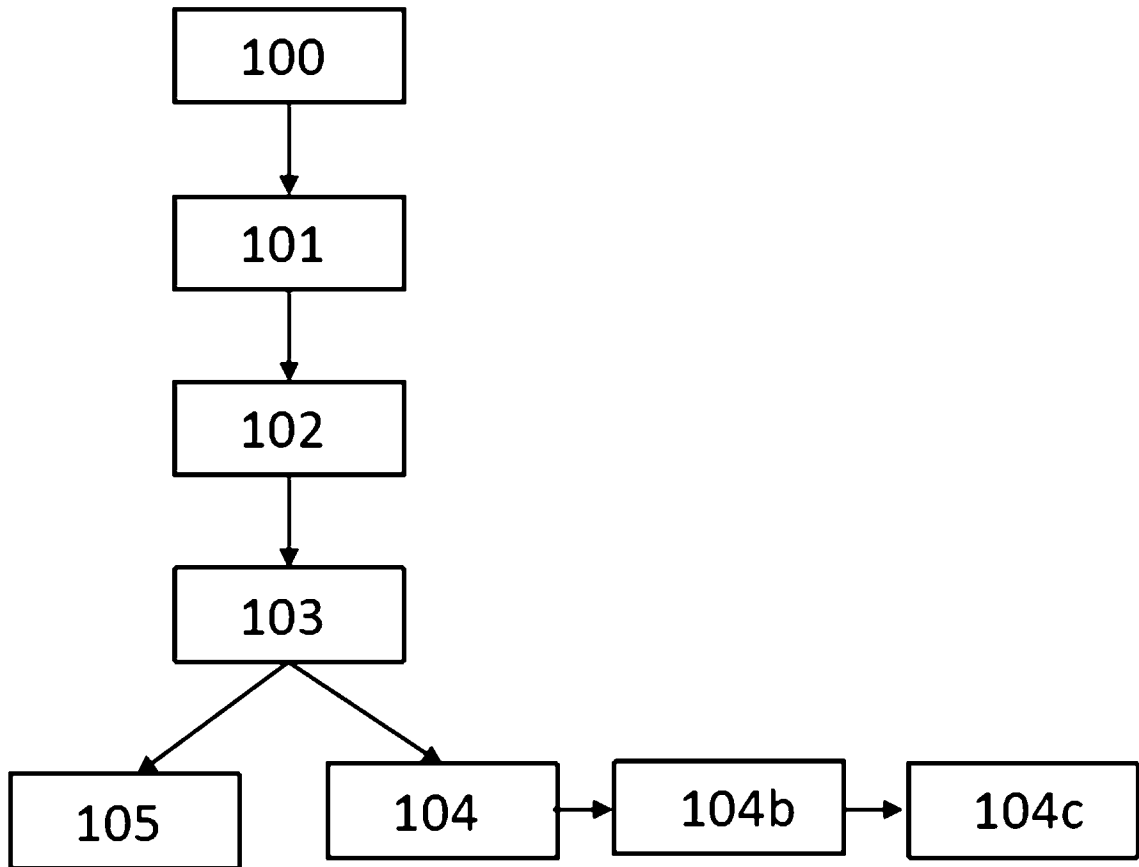
8. Реактор по п. 7, дополнительно содержащий сепаратор (15), расположенный в выпуске (13) газа или после него, для отделения сухих фрагментированных твердых веществ от отработанного восстановительного газа.

9. Реактор по п. 8, дополнительно содержащий устройство (16) для рециркуляции твердых веществ, расположенное в соединении с сепаратором (15) и выполненное с возможностью повторного ввода сухих фрагментированных твердых веществ, отделенных от отработанного восстановительного газа, в реактор (1) восстановления во впуск (20) фрагментированных твердых веществ, расположенный в точке ниже выпуска (13) газа при рассмотрении по направлению гравитационного

потока материала в реакторе (1) восстановления.



Фиг. 1



Фиг. 2