

(19)



Евразийское  
патентное  
ведомство

(21) 202491025 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки  
2024.08.30

(22) Дата подачи заявки  
2022.12.02

(51) Int. Cl. C21B 13/10 (2006.01)  
C22B 1/16 (2006.01)  
C22B 7/02 (2006.01)  
F27B 9/24 (2006.01)  
C21B 13/00 (2006.01)  
C21B 3/04 (2006.01)  
F27B 9/08 (2006.01)  
F27B 9/10 (2006.01)  
F27B 9/12 (2006.01)  
F27B 9/20 (2006.01)  
F27D 3/00 (2006.01)

(54) ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗА

(31) 2021/09859

(32) 2021.12.02

(33) ZA

(86) PCT/ZA2022/050065

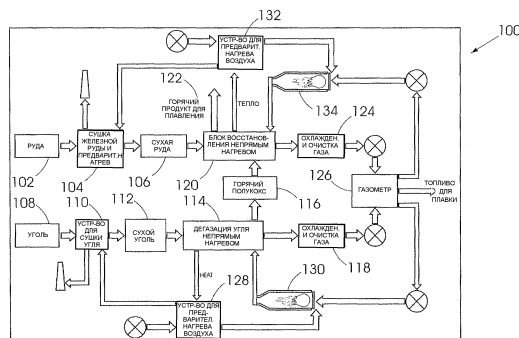
(87) WO 2023/102580 2023.06.08

(71) Заявитель:  
МАНИК АЙРОН ТЕКНОЛОДЖИ  
ПРОПРИЕТАРИ ЛИМИТЕД (ZA)

(72) Изобретатель:  
Бичи Хэд Джон Питер, Бесерра Новоа  
Джордж Октавио (ZA)

(74) Представитель:  
Нилова М.И. (RU)

(57) В изобретении предложен способ восстановления мелких фракций железного металла, полученных из отходов или из железной руды, включающий подачу мелкого железного материала с распределением частиц по размерам в диапазоне от 10 мкм до менее 6 мм и восстановителя в печь с ненапряжью нагреваемым вибрационным слоем и обеспечение контакта мелкого железного материала с восстановителем в печи с ненапряжью нагреваемым вибрационным слоем при температуре до 1350°C с получением железного металла прямого горячего восстановления.



A1

202491025

202491025

A1

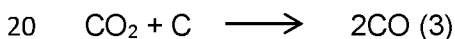
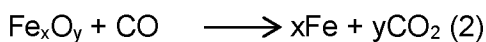
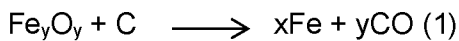
## ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗА

### УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

**[0001]** Настоящее изобретение относится к способу восстановления железных металлов из железных руд и, в частности, из мелких фракций железных руд, включая отходы железных материалов, такие как хвосты в горнодобывающей промышленности.

**[0002]** В горнодобывающей промышленности образуется значительное количество мелких фракций железной руды. Эти мелкие фракции/шламы часто сбрасывают в виде отходов в хвостохранилища, содержащие значительное количество железных руд. В последние годы в мире возрос интерес к восстановлению ценных минералов из низкосортных руд, шламов и хвостов. Эти мероприятия иницируются не только для восстановления минералов, но и для решения различных экологических проблем, связанных с обработкой мелких частиц.

**[0003]** Предложены различные способы прямого восстановления железных металлов из мелких фракций железной руды. Один из таких способов, описанный в патенте США № 8613787B2, раскрывает использование вращающейся печи, в которой дегазированный уголь и железную руду в виде окатышей или мелких фракций подают во вращающуюся печь, и затем печь непрямым образом нагревают до температуры в диапазоне от 1000°C до 1100°C. Реакция, происходящая в печи, протекает следующим образом:



CO, произведенный в реакции (3), будет продолжать реагировать, как указано в реакции (2).

**[0004]** Хотя прямое восстановление железной руды и мелких фракций железной руды возможно с помощью вращающейся печи, этот процесс имеет ограничения. Поскольку печь

нагревают непрямым образом, существует ограничение по температуре восстановления из-за конструкционных материалов печи и размера, необходимого для промышленного производства. Нельзя достичь очень высоких температур и, как правило, температура будет меньше 1050°C.

5 **[0005]** Кроме того, во время дегазации угля необходимую энергию обеспечивают путем прямого нагрева угля посредством частичного сжигания летучего газа. Это влечет за собой ряд недостатков. Во-первых, образуется газ различного качества, что значительно усложняет его дальнейшее использование. Во-вторых, отсутствует возможность управления пламенем внутри дегазационной печи, что приводит к образованию локальных очагов с высокой температурой, которые повреждают оборудование в результате воздействия пламени.

**[0006]** После восстановления железной руды полученное железо прямого восстановления, зола и полукокс охлаждаются. Однако смесь этих разнородных материалов делает не прямое охлаждение сложной задачей.

15 **[0007]** Таким образом, существует потребность в альтернативном способе восстановления мелких фракций железной руды энергоэффективным способом, который обеспечивает возможность достижения более высоких температур и лучшего управления процессом.

**[0008]** Изобретение направлено, по меньшей мере частично, на решение этих задач.

## СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

20 **[0009]** Изобретение относится к способу восстановления мелких фракций железных металлов, полученных из отходов или из железной руды, включающему следующие этапы:

- а) подачу мелкого железного материала с распределением частиц по размерам от 10 мкм до менее 6 мм и восстановителя в печь с ненапрямым нагреваемым вибрационным слоем; и

b) обеспечение контакта мелкого железного материала с восстановителем в печи с ненапрямым нагреваемым вибрационным слоем при температуре до 1350°C с получением железного металла прямого горячего восстановления.

5 **[0010]** Предпочтительно мелкий железный материал имеет размер менее 500 мкм. Железная руда может представлять собой мелкие фракции хромита, оксида железа или марганца.

**[0011]** Предпочтительно температура на этапе (b) находится в диапазоне от 1000°C до 1350°C, более предпочтительно от 1200°C до 1350°C.

**[0012]** Способ может включать первый предварительный этап предварительного нагрева мелкого железного материала до температуры от 400°C до 500°C для удаления избыточной влаги и для снижения потребности в энергии в восстановительном слое.

**[0013]** Восстановителем может быть углеродсодержащий материал, такой как уголь. Углеродсодержащий материал может иметь распределение частиц по размерам менее 1 мм.

**[0014]** Если восстановителем является уголь, способ может включать второй предварительный этап дегазации угля путем непрямого нагрева газообразными продуктами сжигания для получения полукокса. Затем полукокс может быть подан в восстановительный слой печи. Это делается без охлаждения полукокса, чтобы уменьшить потребность в энергии восстановительного слоя.

**[0015]** Летучие горючие газы, полученные благодаря дегазации угля на втором предварительном этапе и на этапе (b), могут проходить к газометру. Горючие газы могут быть охлаждены и очищены перед подачей в газометр. Назначение газометра состоит в том, чтобы обеспечить несколько этапов в процессе, в которых используются горючие газы с более стабильным составом газа и со стабильным потоком в соответствии с потребностью. Газы из

газометра могут быть использованы на втором предварительном этапе, этапе (b) и на последующем этапе восстановления.

**[0016]** Способ может также включать этап рекуперации физического тепла от горючих газов, выделяемых в результате дегазации угля, которое будет использоваться для предварительного нагрева газообразных продуктов сжигания, используемых на втором предварительном этапе. Физическое тепло также может быть восстановлено из горючих газов, полученных на этапе (b), чтобы использоваться для предварительного нагрева газообразных продуктов сжигания для использования в печи.

**[0017]** Способ может включать дополнительный этап (c) восстановления, на котором железный металл прямого горячего восстановления непрямым образом нагревают в плавильном блоке вместе с газообразными продуктами сжигания, полученными путем сжигания топлива из газометра с воздухом, предварительно нагретым до температуры около 2000°C, для получения жидкого железного металла и жидкого шлака.

**[0018]** Жидкий железный металл может быть отправлен в гранулятор для получения гранулированного железного металла.

**[0019]** Жидкий шлак может быть использован в качестве замены наполнителя или в качестве добавки в процессе производства цемента. В альтернативном варианте жидкий шлак может быть отправлен в отходы.

**[0020]** Если уголь используют в качестве восстановителя на этапе (b), то полукокс и мелкий железный материал могут подаваться в печь с вибрационным слоем в регулируемом соотношении, которое зависит от качества используемого материала и избытка восстановителя, необходимого для достижения желаемого содержания углерода в жидком железном металле.

**[0021]** Время выдержки полукокса и железных мелких фракций в восстановительном слое печи может регулироваться для достижения желаемой степени восстановления. Время

выдержки зависит от характеристик мелких фракций и рабочей температуры. Предпочтительно время выдержки составляет менее 15 минут.

**[0022]** Использование печи с вибрационным слоем обеспечивает вибрациям и выделению горючего газа возможность создания промежуточного пространства, способствующего 5 реакциям восстановления твердое/твердое и твердое/газ в печи. Вибрационное воздействие поднимает шихту внутри печи для создания промежуточного пространства, обеспечивающего перемещение газа и способствующего протеканию реакций восстановления внутри печи.

**[0023]** Печь с вибрационным слоем может быть описанного ниже типа.

10 **[0024]** Изобретение также распространяется на печь, которая содержит конструкцию, в которой образована рабочая камера, по меньшей мере одно впускное отверстие для подачи продукта, подлежащего обработке, в рабочую камеру, по меньшей мере одно выпускное 15 отверстие, через которое обработанный продукт выгружается из рабочей камеры, нагревательное устройство, выполненное с возможностью нагрева продукта, находящегося в рабочей камере, до заданной температуры, и механизм, который сконфигурирован и выполнен с возможностью придания управляемого вибрационного движения рабочей камере и продукту в рабочей камере.

**[0025]** Продукт, подлежащий переработке, обычно имеет форму мелких частиц. Основная функция вибрационного механизма заключается в придании вибрационного перемещения 20 рабочей камере и, следовательно, материалу в виде частиц в рабочей камере, так что, по сути, происходит образование суспензии из материала в виде частиц в окружающей среде. Таким образом, каждая частица эффективно удаляется или смещается от окружающих частиц, и ее поверхность полностью обнажается, и, следовательно, частица может иметь максимальную площадь поверхности, что обеспечивает возможность ее восстановления.

**[0026]** В одном из вариантов осуществления изобретения продуктом, подлежащим переработке, является оксид железа с размером частиц менее 500 мкм.

**[0027]** Нагревающее устройство должно быть выполнено с возможностью нагрева продукта в рабочей камере до рабочей температуры до 1350°C.

5 **[0028]** Таким образом, посредством вибрационного перемещения частицы в рабочей камере находятся на некотором расстоянии друг от друга.

**[0029]** Нагревающее устройство предпочтительно находится в месте, которое находится ниже рабочей камеры. Впускное отверстие может быть расположено на первом конце рабочей камеры или вблизи него. Выпускное отверстие может находиться на втором конце рабочей камеры, который удален от первого конца, или вблизи него.

**[0030]** Конструкция может содержать выпускное отверстие из рабочей камеры, через которое направляется горючий газ, образующийся при нагревании и, следовательно, восстановлении продукта в рабочей камере.

15 **[0031]** Горючие газы могут быть направлены к газометру, а оттуда к системе сжигания, и горячий газообразный продукт сжигания из системы сжигания может быть использован в нагревательном устройстве.

**[0032]** Вибрационный механизм может быть любого подходящего типа. Согласно одному варианту осуществления конструкция установлена на раме с вибрационным механизмом между рамой и конструкцией. Вибрационный механизм может содержать резиновые или аналогичные элементы вибрационного подвеса между рамой и конструкцией.

20 **[0033]** Благодаря использованию подходящего привода с использованием известных в данной области техники технологий конструкции сообщается вибрационное движение, которое заставляет конструкцию перемещаться вверх и вниз, в целом, в вертикальном направлении относительно рамы.

**[0034]** С одной стороны, частицы в рабочей камере аэрируются за счет увеличения расстояния между ними, и частицы, тем самым, эффективно помещаются в то, что можно рассматривать как суспензию.

**[0035]** В одном варианте осуществления конструкции рабочая камера расположена в верхнем корпусе, а нагревательное устройство расположено в нижнем корпусе, расположенном под верхним корпусом, и между корпусами расположена огнеупорная среда.

#### **КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ**

Изобретение дополнительно описано в качестве примера со ссылкой на сопроводительные чертежи, на которых:

10 на фиг. 1 представлен вид сверху в перспективе печи согласно одному варианту осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 2 представлен вид сбоку печи, показанной на фиг. 1;

на фиг. 3 проиллюстрирован способ восстановления железных металлов из железной руды согласно изобретению; и

15 на фиг. 4 проиллюстрирован этап восстановления железных металлов согласно способу по изобретению.

#### **ОПИСАНИЕ ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫХ ВАРИАНТОВ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ**

**[0036]** На фиг. 1 сопроводительного чертежа показана печь 10 согласно изобретению. На фиг. 2 показана печь 10 с одной стороны и в поперечном сечении.

20 **[0037]** Печь 10 содержит конструкцию 12, которая установлена на опорной раме 14.

**[0038]** Конструкция 12 содержит верхний корпус 18 и нижний корпус 20. Два корпуса разделены огнеупорной средой 24 для горячей поверхности.



**[0039]** Верхний корпус 18 содержит рабочую камеру 30. Вблизи первого конца 34 рабочей камеры 30 образовано наклоненное вниз впускное отверстие 32. Вблизи второго конца 40 рабочей камеры 30 образовано разгрузочное отверстие 38. Второй конец 40 находится на удалении от первого конца 34. В верхней стенке 46 верхнего корпуса образовано выпускное  
5 отверстие 44. Изолирующий огнеупорный материал 50 окружает рабочую камеру 30, поскольку это может быть целесообразно.

**[0040]** Огнеупорная среда 24 для горячей поверхности проходит вниз от верхнего корпуса 18 в нижний корпус 20. Нижний корпус вмещает в себя нагревательное устройство для продукта, находящегося в верхнем корпусе. Нагрев достигается с помощью горячего  
10 продукта сжигания газа, который вводят через впускное отверстие 54, и который выходит из нижнего корпуса через газоотводное отверстие 56, которое смещено относительно впускного отверстия 54.

**[0041]** Конструкция 12 установлена на верхней опорной раме 60, на которую опирается конструкция. Элементы 62 вибрационного подвеса, изготовленные из резины или  
15 аналогичного материала, расположены между верхней опорной рамой 60 и нижней опорной рамой 66, которая опирается на землю. Посредством использования привода (не показан), использующего известные в данной области техники технологии, конструкции может быть придано вибрационное перемещение вверх-вниз, в целом в вертикальном направлении, так что она перемещается вверх-вниз, в целом, в вертикальном направлении, относительно  
20 нижней опорной рамы 66, как указано двусторонними стрелками 70.

**[0042]** Рассмотрение фиг. 2 показывает, что основание 72 рабочей камеры 30 наклонено вниз, со смещением в сторону от впускного отверстия 32 к выпускному отверстию 38.

**[0043]** При использовании печи мелкие фракции 80 оксида железа с распределением частиц по размерам менее 500 мкм подают с регулируемой скоростью из источника через  
25 впускное отверстие 32 в рабочую камеру 30. Горячий продукт 84 сжигания газа, полученный в процессе 86 сжигания газа, подают с регулируемой скоростью в нагревательное устройство,

выполненное в нижнем корпусе 20, через впускное отверстие 54. Целью в данном случае является использование горячего продукта 84 сжигания газа для нагрева продукта в рабочей камере 30 до температуры вплоть до 1350°C. Газ, который выходит из нижнего корпуса, выводится через отверстие 56.

5 **[0044]** Частицы железной руды и полукокс образуют исходный продукт. Процесс непрямого нагрева, осуществляемый в нижнем корпусе 20 горячим продуктом 84 сжигания газа, приводит к тому, что железная руда и полукокс вступают в реакцию, и железо напрямую восстанавливается с получением мелких фракций металла с высокой степенью металлизации.

10 **[0045]** В процессе восстановления оксиды железа восстанавливаются за счет CO, образующего CO<sub>2</sub>. CO<sub>2</sub> реагирует с углеродом в полукоксе с образованием 2CO, и CO снова используется для восстановления.

**[0046]** Газы, которые образуются в результате процесса восстановления, имеют очень высокое содержание CO, который является горючим, и выводятся через выпускное отверстие  
15 44, а затем направляются в процесс 86 сжигания через газометр и систему обработки топливного газа.

**[0047]** На фиг. 3 проиллюстрирован способ 100 восстановления железных металлов из железных мелких фракций согласно изобретению.

**[0048]** На первом предварительном этапе железные мелкие фракции 102 нагревают (104)  
20 до температуры от 400°C до 500°C для удаления избыточной влаги для получения сухого рудного продукта 106. Железные мелкие фракции имеют размер в диапазоне от 10 мкм до 6 мм. Предпочтительно, железные мелкие фракции имеют размер менее 500 мкм.

**[0049]** Уголь 108 также нагревают (110) для удаления избыточной влаги для получения  
25 продукта 112, представляющего собой сухой уголь. Если уголь крупный, перед нагревом уголь измельчают до размера менее 1 мм.

**[0050]** На втором предварительном этапе сухой уголь 112 подвергают этапу 114 дегазации, на котором уголь 112 нагревают непрямым образом для удаления летучих веществ для получения продукта 116, представляющего собой горячий полукокс, и летучего газа 118.

**[0051]** Продукт 106, представляющий собой горячие сухие мелкие фракции, и продукт 116, представляющий собой горячий полукокс, подают в блок восстановления в виде печи 120 с вибрационным слоем в соотношении, регулируемом в соответствии с конкретными свойствами и качеством мелких фракций и полукокса, а также желаемым содержанием углерода в конечном гранулированном железном продукте. Предпочтительно печь с вибрационным слоем относится к типу, описанному в настоящем документе. Печь 120 непрямым образом нагревают до температуры 1350°C в течение времени поддержания процесса предпочтительно менее 15 минут для получения железного продукта 122 прямого горячего восстановления и горючего газа 124.

**[0052]** Газы 118 и 124 охлаждают и очищают и направляют в газометр 126. Газ из газометра 126 сжигают с предварительно нагретым воздухом 128 в камере 130 сгорания для получения горячих продуктов сжигания газа, которые используют для непрямого нагрева угля 112 на этапе 114 дегазации.

**[0053]** Газы из газометра также сжигают с предварительно нагретым воздухом 132 в камере 134 сгорания для обеспечения горячих газообразных продуктов сжигания, которые используют для непрямого нагрева шихты в печи 120 с вибрационным слоем.

**[0054]** Оставшееся физическое тепло от газа сгорания, используемого в печи 120, используется в теплообменнике 132 для предварительного нагрева воздуха для горения для использования в камере 134 сгорания. Оставшееся физическое тепло в газообразном продукте сжигания, используемое в блоке 114 дегазации, используют для предварительного нагрева воздуха для горения, предназначенного для использования в камере 130 сгорания в теплообменнике 128.

- [0055]** На фиг. 4 проиллюстрирован этап восстановления 140 железа согласно изобретению. Железный продукт 122 прямого горячего восстановления непрямым образом нагревают в плавильном блоке 142 вместе с газами, накапливаемыми в газометре 126, и сжигают в камере 150 сгорания до температуры, составляющей приблизительно 2000°C. За
- 5 счет непрямого контакта с газообразными продуктами сжигания образуются жидкий железный продукт 146 и жидкий шлак 144. Оставшееся физическое тепло от газообразных продуктов сжигания, используемое в плавильном блоке 142, используется для предварительного нагрева воздуха для горения, используемого в камере 150 сгорания, через теплообменник 148.
- 10 **[0056]** Жидкий железный металл направляют в гранулятор для производства гранулированного железного продукта. Жидкий шлак используют в качестве замены наполнителя или в качестве добавки в процессе производства цемента или отправляют в отходы.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

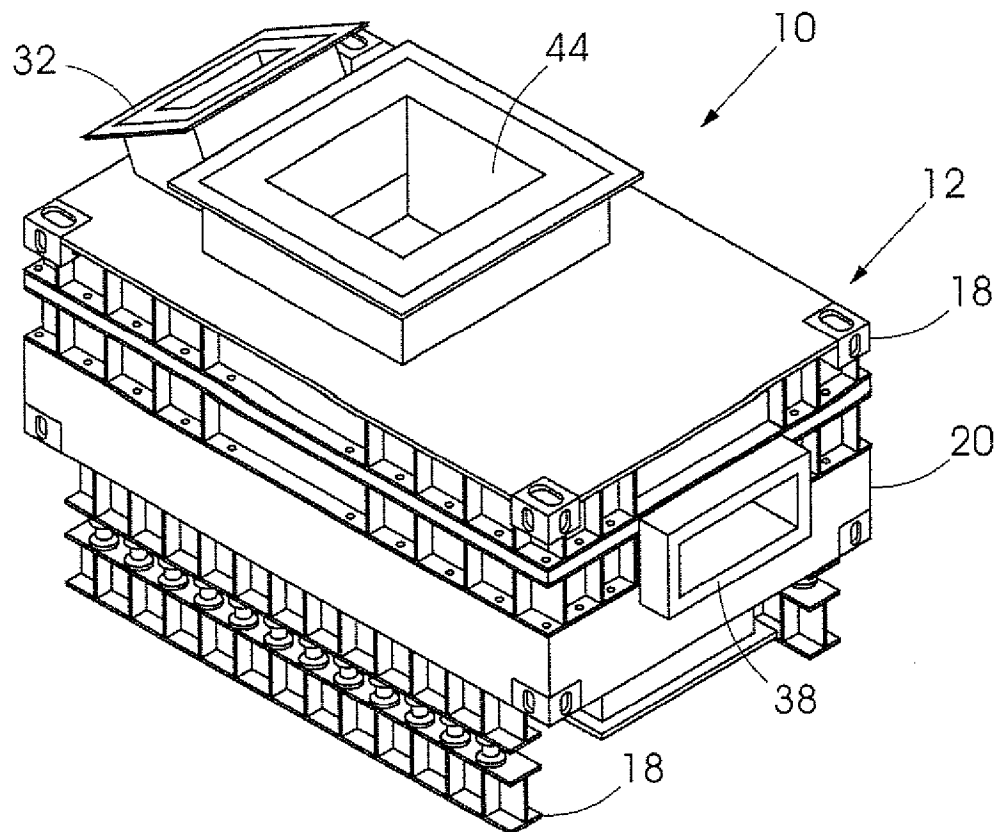
1. Способ восстановления мелких фракций железных металлов, полученных из отходов или из железной руды, включающий следующие этапы:
  - 5 а) подачу мелкого железного материала с распределением частиц по размерам от 10 мкм до менее 6 мм и восстановителя в печь с ненапряжимо нагреваемым вибрационным слоем; и
  - 10 б) обеспечение контакта мелкого железного материала с восстановителем в печи с ненапряжимо нагреваемым вибрационным слоем при температуре до 1350°C с получением железного металла прямого горячего восстановления.
2. Способ по п. 1, в котором мелкий железный материал имеет размер менее 500 мкм.
3. Способ по п. 1 или 2, в котором железная руда выбрана из одной или более мелких фракций хромита, оксида железа или марганца.
4. Способ по любому из пп. 1-3, в котором температура на этапе (б) находится в  
15 диапазоне от 1000°C до 1350°C.
5. Способ по любому из пп. 1-4, включающий первый предварительный этап предварительного нагрева мелкого железного материала до температуры в диапазоне от 400°C до 500°C.

6. Способ по любому из пп. 1-5, в котором восстановитель представляет собой углеродсодержащий материал, имеющий распределение частиц по размерам менее 1 мм.
7. Способ по п. 6, в котором углеродсодержащий материал представляет собой уголь.
- 5 8. Способ по п. 7, включающий второй предварительный этап дегазации угля посредством непрямого нагрева газообразными продуктами сжигания с получением полукокса.
9. Способ по п. 8, в котором летучие горючие газы, образующиеся на втором предварительном этапе и на этапе (b), поступают в газометр.
- 10 10. Способ по п. 9, в котором газы из газометра используют на втором предварительном этапе, этапе (b) и на последующем этапе восстановления.
11. Способ по п. 10, включающий этап рекуперации физического тепла от горючих газов, выделяемых в результате дегазации угля, используемого для предварительного нагрева газообразных продуктов сжигания, используемых на втором предварительном  
15 этапе.
12. Способ по любому из пп. 8-11, включающий дополнительный этап (с) восстановления, на котором железный металл прямого горячего восстановления непрямым образом нагревают в плавильном блоке вместе с газообразными продуктами сжигания, полученными путем сжигания топлива из газометра с предварительно нагретым  
20 воздухом до температуры около 2000°C с получением жидкого железного металла и жидкого шлака.

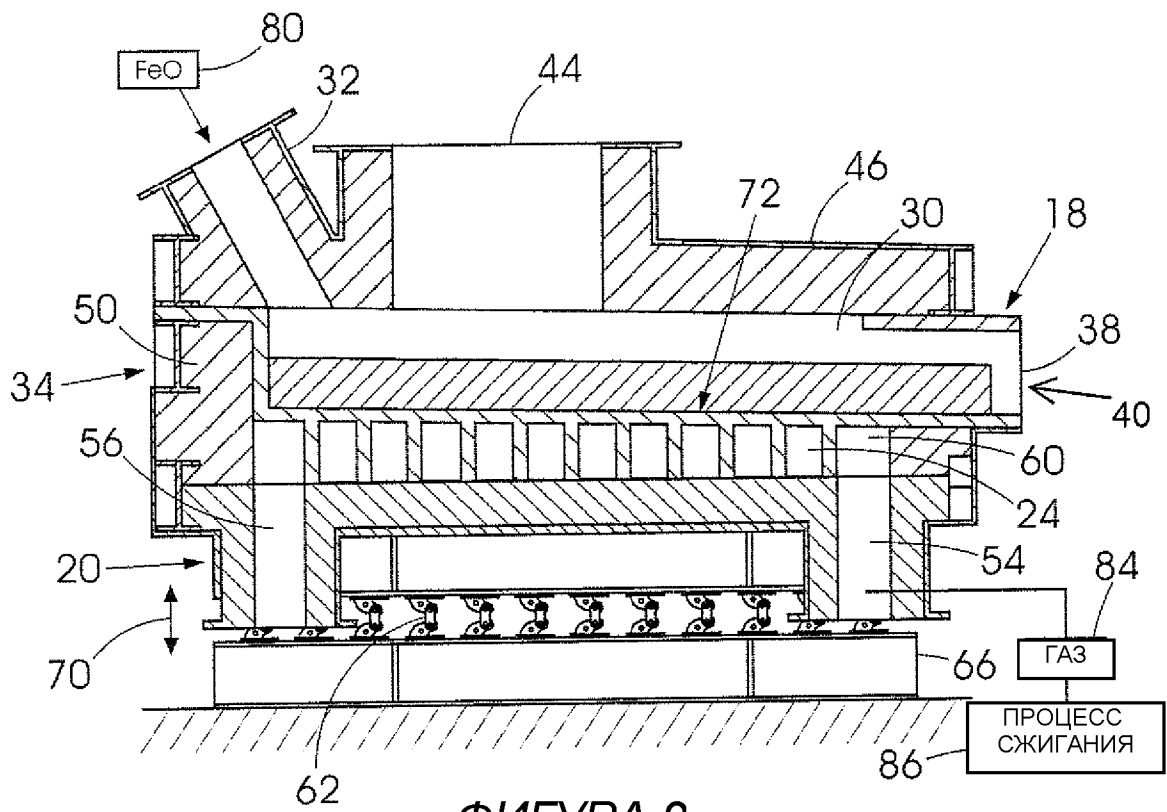
13. Способ по п. 12, в котором полукокс и мелкий железный материал подают в печь с вибрационным слоем в регулируемом соотношении, которое зависит от качества используемого материала и избытка восстановителя, необходимого для обеспечения заданного содержания углерода в жидком железном металле.
- 5 14. Способ по п. 13, в котором время выдержки полукокса и железных мелких фракций в печи с вибрационным слоем составляет менее 15 минут.
- 10 13. Способ по любому из пп. 1-14, в котором печь с вибрационным слоем создает вибрационное воздействие, которое поднимает шихту внутри печи с обеспечением промежуточных пространств для обеспечения перемещения газа и ускорения реакций восстановления внутри печи.
- 15 14. Печь, содержащая конструкцию, в которой образована рабочая камера, по меньшей мере одно впускное отверстие для подачи продукта, подлежащего обработке, в рабочую камеру, по меньшей мере одно выпускное отверстие, через которое обрабатываемый продукт выгружается из рабочей камеры, нагревательное устройство, выполненное с возможностью нагрева продукта, находящегося в рабочей камере, до заданной температуры, и механизм, сконфигурированный и выполненный с возможностью придания управляемого вибрационного перемещения рабочей камере и продукту в рабочей камере.
- 20 15. Печь по п. 14, в которой продуктом является оксид железа, имеющий распределение частиц по размерам менее 500 мкм.
16. Печь по п. 14 или 15, в которой нагревательное устройство расположено ниже рабочей камеры.

17. Печь по любому из пп. 14-16, в которой впускное отверстие расположено на первом конце рабочей камеры или вблизи него, а выпускное отверстие расположено на втором конце рабочей камеры, удаленном от первого конца, или вблизи него.
- 5 18. Печь по любому из пп. 14-17, в которой указанная конструкция содержит выпускное отверстие из рабочей камеры, через которое направляется горючий газ, образующийся при нагревании и, следовательно, восстановлении продукта в рабочей камере.
- 10 19. Печь по п. 18, в которой горючий газ направляют к газометру, а оттуда к системе сжигания, а горячий продукт сжигания газа из системы сжигания используют в нагревательном устройстве.
20. Печь по любому из пп. 14-19, в которой конструкция установлена на раме с вибрационным механизмом между рамой и конструкцией.
21. Печь по п. 20, в которой вибрационный механизм содержит резиновые элементы вибрационного подвеса между рамой и конструкцией.
- 15 22. Печь по любому из пп. 14-21, в которой благодаря вибрационному перемещению частицы в рабочей камере находятся на некотором расстоянии друг от друга.
23. Печь по любому из пп. 14-22, в которой рабочая камера размещена в верхнем корпусе, а нагревательное устройство размещено в нижнем корпусе, расположенном под верхним корпусом, при этом между корпусами находится огнеупорная среда.

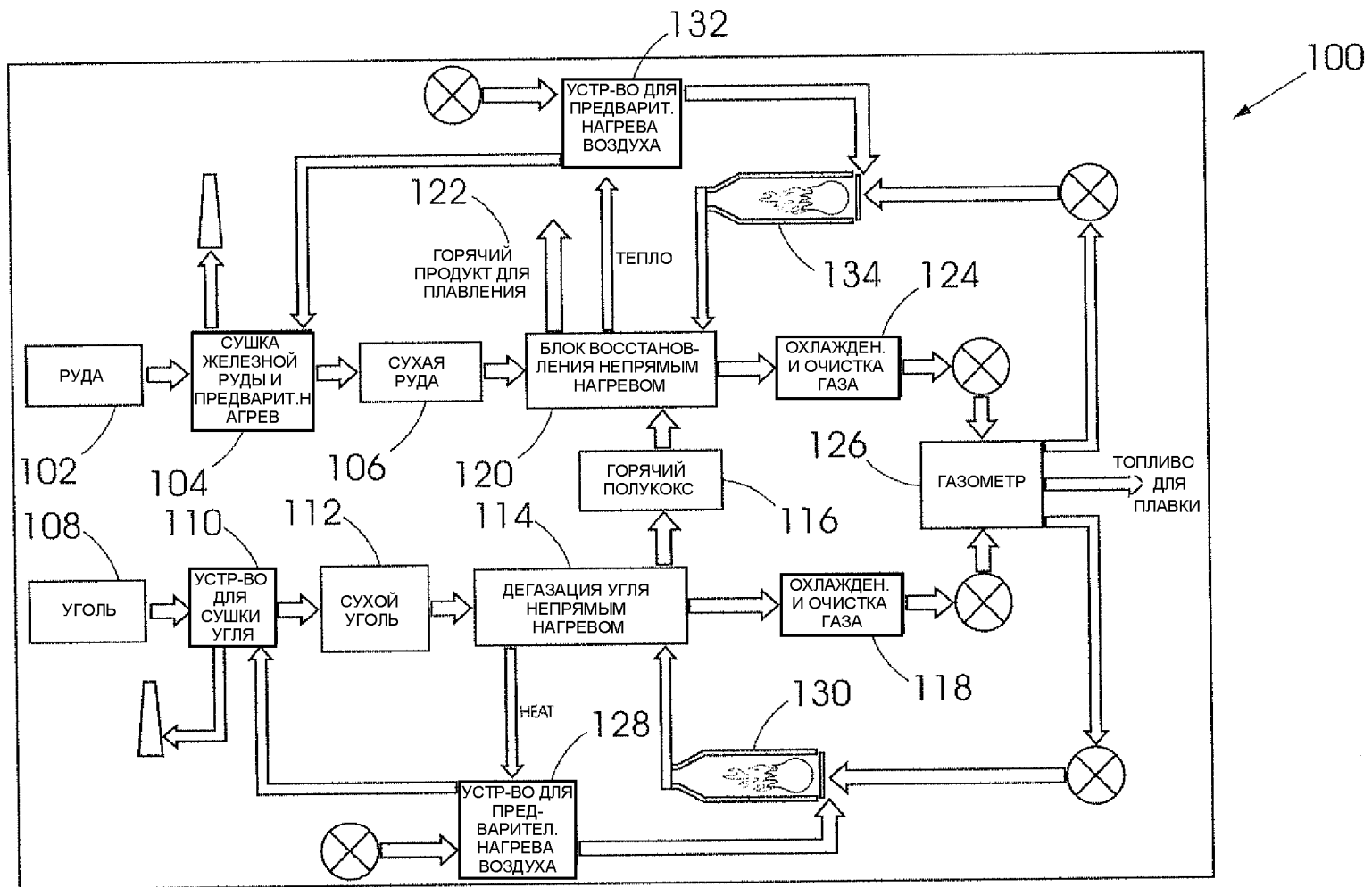




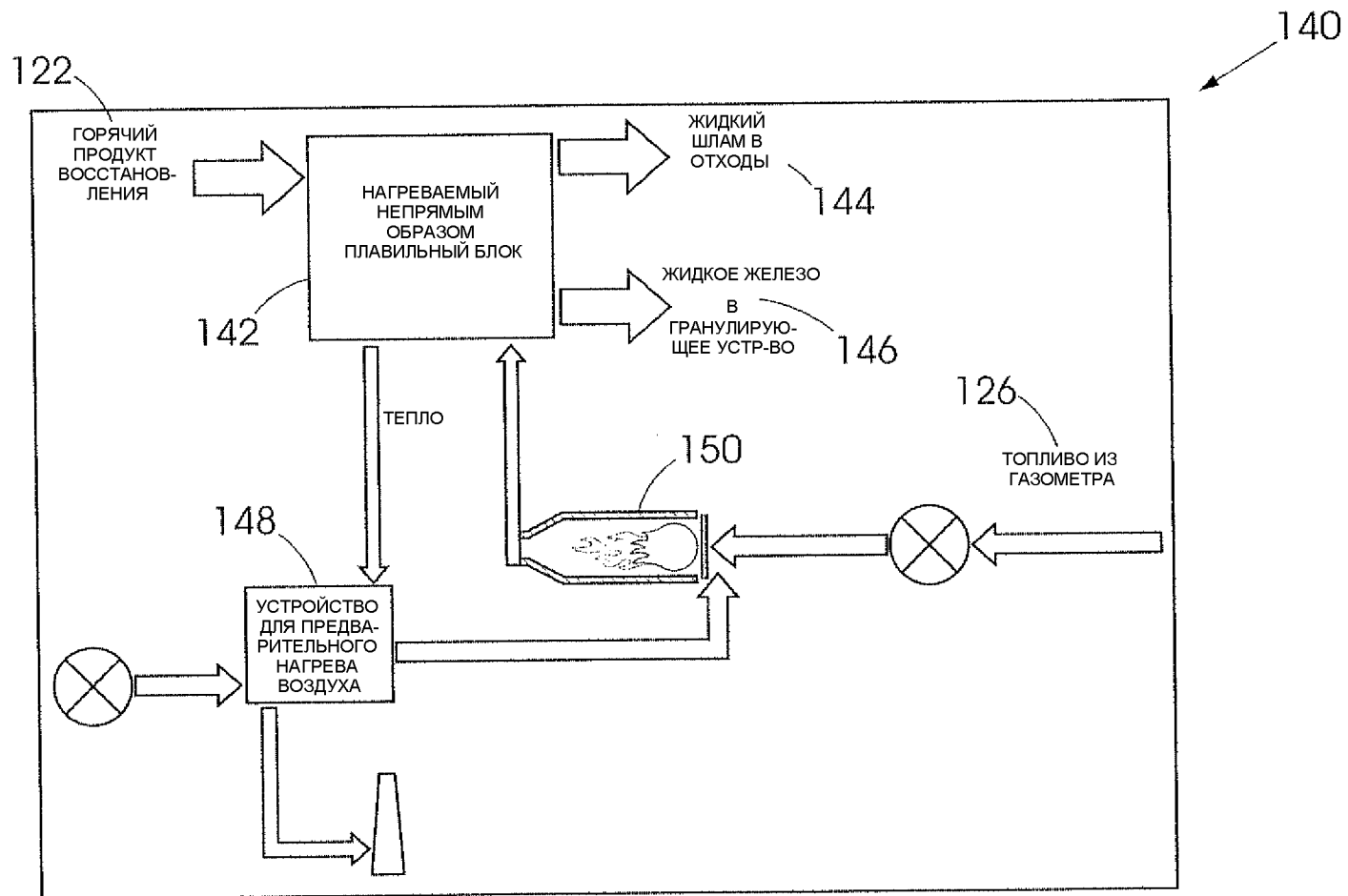
ФИГУРА 1



ФИГУРА 2



ФИГУРА 3



ФИГУРА 4