

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **044807**

(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.10.02

(21) Номер заявки
202290483

(22) Дата подачи заявки
2020.08.05

(51) Int. Cl. **C22B 21/02** (2006.01)
C22B 1/02 (2006.01)
B03C 1/015 (2006.01)
F27B 7/14 (2006.01)

**(54) СИСТЕМА ДЛЯ ОБРАБОТКИ КРАСНОГО ШЛАМА И СПОСОБ ОБРАБОТКИ
КРАСНОГО ШЛАМА**

(31) 16/533,232

(32) 2019.08.06

(33) US

(43) 2022.04.26

(86) PCT/US2020/044937

(87) WO 2021/026193 2021.02.11

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
РЕД МАД ЭНТЕПРАЙЗИЗ ЭлЭлСи
(US)

(72) Изобретатель:
Макниш Гари (GB)

(74) Представитель:
Медведев В.Н. (RU)

(56) CN-A-101429582
US-A-2830892
WO-A1-2012001700
Leontjev, L I; Vatolin, N A; Shavrin, S V;
Some Promising Techniques for Complex Iron Ore
Metallurgical Processing, Metallurgical Processes for
the Year 2000 and Beyond; Las Vegas, Nevada; USA;
27 Feb. - 3 Mar. 1989. pp. 825-840 Figs. 1 (caption)
and 2, page 831 paras. 1-3, page 833 para. 1
CN-A-109439894
US-A-2924513
ZHU De-qing, CHUN Tie-jun, PAN Jian, HE
Zhen; Recovery of Iron From High-Iron Red Mud
by Reduction Roasting With Adding Sodium Salt,
JOURNAL OF IRON AND STEEL RESEARCH,
INTERNATIONAL 19(8) (2012) pp. 01-05 1.2
Experimental procedure

(57) Система для обработки красного шлама, содержащая первую секцию нагрева, управляемую для нагрева красного шлама до первой температуры, вторую секцию нагрева, управляемую для нагрева красного шлама до второй температуры, более низкой, чем первая температура, дробилку, выполненную с возможностью измельчения красного шлама до заданного размера частиц, и один или более сепараторов для физического извлечения по меньшей мере железных компонентов и алюминиевых компонентов из красного шлама.

044807

B1

044807
B1

Введение

Красный шлам (КШ) представляет собой промышленные отходы, образующиеся в алюминиевой промышленности в результате процесса Байера по переработке бокситов, используемого для производства алюминия. Алюминиевая промышленность производит примерно от 1,5 до 2,0 тонн КШ на каждую тонну глинозема. КШ образуется в качестве токсичного побочного продукта, который считается технологически бесполезным и хранится в прудах-отстойниках и токсичных отвалах по всему миру. В мире накоплено более трех миллиардов тонн токсичного КШ, и это количество каждый день увеличивается.

КШ имеет высокую щелочность из-за содержания гидроксида натрия, что делает его очень коррозионно-активным, и содержит тяжелые металлы, которые являются токсичными для окружающей среды. Типично, КШ включает в себя Na_2O , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 и другие материалы в разных количествах. Например, химический анализ КШ, находящегося во Франции, показал, что КШ включал 14% Al_2O_3 , 11,5% TiO_2 , 50% Fe_2O_3 , 6% SiO_2 , 5,5% CaO и 3,5% Na_2O . Другой химический анализ КШ, находящегося в Китае, показал, что КШ включал около 6,4-7,5% SiO_2 , 9,8-15% Al_2O_3 , 23,4-40,2% Fe_2O_3 , 3,9-37% CaSO_4 , 4,3-9,2% TiO_2 , 0,4-1,4% TiO_2 , 0,4-1,4% Na_2O , 0,01-0,03% MgO и 13,5-28% потерь при прокаливании (ППП), представляющих собой влагу и летучие материалы. В сухом состоянии КШ обычно содержит 45-55% оксидов железа, 10-25% оксида алюминия и приблизительно 10% оксида титана. Как видно из этих химических анализов, металлы алюминий, железо и, в некоторой степени, титан присутствуют в КШ в относительно больших количествах. Таким образом, КШ содержит в себе ценные металлические компоненты, включая алюминий, железо и титан. Однако из-за высокой щелочности и токсичности КШ извлечение этих металлов затруднено и требует добавления других токсичных материалов для химической обработки КШ, чтобы удалить один или более из этих металлов.

Сущность изобретения

Настоящее изобретение предлагает способ обработки КШ, который не требует добавления химических веществ к КШ для извлечения и выделения алюминия, железа и титана из КШ. Настоящее изобретение обеспечивает высокий процент извлечения этих металлов, например, извлечение свыше 90%, за счет использования физического извлечения и без химической обработки КШ добавлением других химических веществ для проведения реакции с компонентами КШ. Способ по настоящему изобретению несложен и приспособлен для обработки больших количеств КШ с получением безвредных для окружающей среды компонентов, что делает КШ безопасным материалом.

Настоящее изобретение направлено на систему для обработки красного шлама, содержащую первую секцию нагрева, управляемую для нагрева красного шлама до первой температуры, вторую секцию нагрева, управляемую для нагрева красного шлама до второй температуры, более низкой, чем первая температура, дробилку, выполненную с возможностью измельчения красного шлама до заданного размера частиц, и один или более сепараторов для физического извлечения по меньшей мере железных компонентов и алюминиевых компонентов из красного шлама. В некоторых вариантах осуществления первая температура составляет по меньшей мере 1200°C, и может составлять между 1400 и 2000°C, а вторая температура составляет между 600 и 1500°C. В некоторых вариантах осуществления система включает в себя контроллер, запрограммированный управлять первой секцией нагрева для нагрева красного шлама до первой температуры и/или второй секцией нагрева для нагрева красного шлама до второй температуры.

В некоторых вариантах осуществления первая секция нагрева включает в себя шнековый конвейер, выполненный с возможностью транспортировки красного шлама вдоль первой секции нагрева, и одну или более горелок, выполненных с возможностью создания пламени в первой секции нагрева. Вторая секция нагрева может включать в себя трубчатую печь, имеющую множество ребер вдоль ее внутренней поверхности. В этих вариантах осуществления трубчатая печь включает в себя впускной участок, имеющий множество ребер с первым расположением на его внутренней поверхности, и выпускной участок, имеющий множество ребер со вторым расположением на его внутренней поверхности, отличающимся от первого расположения. Например, впускной участок включает в себя множество ребер, расположенных без перекрывания друг с другом, а выпускной участок включает в себя множество ребер, каждое из которых перекрывается с другим ребром, соседним с ним.

В некоторых вариантах осуществления дробилка содержит шаровую мельницу и дополнительно включает в себя секцию охлаждения для охлаждения красного шлама. Упомянутые один или более сепараторов включают магнитный сепаратор, выполненный с возможностью извлечения железа и оксидов железа из красного шлама. В некоторых вариантах осуществления магнитный сепаратор дополнительно выполнен с возможностью извлечения оксида титана из красного шлама после извлечения железа и оксидов железа. Упомянутые один или более сепараторов могут включать циклонный сепаратор для отделения по меньшей мере алюминия от красного шлама с использованием гравитационной сепарации. Упомянутые один или более сепараторов выполнены с возможностью отделения железных и алюминиевых компонентов от красного шлама без добавления химических веществ к красному шламу.

В некоторых вариантах осуществления система включает в себя корпус, в котором по меньшей мере частично заключены первая секция нагрева, вторая секция нагрева, дробилка и по меньшей мере один из упомянутых одного или более сепараторов. Корпус может быть выполнен в виде вращающейся труб-

чатой печи, которая включает в себя множество областей, охватывающих первую секцию нагрева, вторую секцию нагрева, дробилку и по меньшей мере один или более сепараторов.

Изобретение также направлено на систему для обработки красного шлама, содержащую секцию нагрева, управляемую для нагрева красного шлама до по меньшей мере 1400°C, дробилку, выполненную с возможностью измельчения красного шлама до заданного размера частиц, и один или более сепараторов для физического извлечения по меньшей мере железных и алюминиевых компонентов из красного шлама. В некоторых вариантах осуществления секция нагрева включает в себя горелку, управляемую для нагрева красного шлама до 1400-2000°C. Горелка в секции нагрева может представлять собой газогенераторную горелку, горелку прямого розжига, высокотемпературную горелку и/или циклонную горелку. Секция нагрева также включает в себя шнековый конвейер для транспортировки красного шлама вдоль по меньшей мере части секции нагрева. Упомянутые один или более сепараторов включают магнитный сепаратор для извлечения по меньшей мере железа и оксидов железа из красного шлама и циклонный сепаратор для извлечения по меньшей мере алюминия из красного шлама с использованием гравитационной сепарации. В некоторых вариантах осуществления упомянутые один или более сепараторов выполнены с возможностью физического отделения по меньшей мере железа и алюминия от красного шлама без добавления химических веществ к красному шламу.

В некоторых вариантах осуществления система дополнительно содержит корпус, в котором по меньшей мере частично заключены секция нагрева, дробилка и по меньшей мере один из упомянутых одного или более сепараторов. Корпус может быть выполнен в виде вращающейся трубчатой печи, которая включает в себя множество областей, охватывающих секцию нагрева, дробилку и по меньшей мере один или более сепараторов.

Настоящее изобретение также направлено на способ обработки красного шлама. В некоторых вариантах осуществления способ включает очистку красного шлама при температуре по меньшей мере 1400°C для удаления гидроксида натрия из красного шлама, измельчение красного шлама до заданного размера частиц и физическое извлечение по меньшей мере железных компонентов и алюминиевых компонентов из красного шлама. В некоторых вариантах осуществления способ включает нагрев красного шлама для удаления гидроксида натрия из красного шлама, измельчение красного шлама до заданного размера частиц и физическое извлечение по меньшей мере железных компонентов и алюминиевых компонентов из красного шлама, при этом всю указанную обработку выполняют без добавления химических веществ к красному шламу.

Краткое описание чертежей

Фиг. 1 иллюстрирует схематическую конфигурацию системы для обработки КШ в соответствии с настоящим изобретением;

фиг. 2 иллюстрирует процесс обработки КШ в соответствии с настоящим изобретением;

фиг. 3А иллюстрирует другую схематическую конфигурацию системы для обработки КШ в соответствии с настоящим изобретением;

фиг. 3В иллюстрирует примерное расположение множественных корпусов системы по фиг. 3А;

фиг. 4А и 4В показывают фотографии горелки, используемой в системах по фиг. 1 и 3;

фиг. 5А-5D показывают фотографии устройства очистки, используемого в системах по фиг. 1 и 3;

фиг. 5Е показывает фотографию устройства очистки по фиг. 5А-5С, используемого с нагревательной трубой по фиг. 1 и 3;

фиг. 6А-6С показывают фотографии нагревательной трубы, используемой в системах по фиг. 1 и 3; и

фиг. 7 показывает примерный магнитный сепаратор, используемый в системах по фиг. 1 и 3.

Подробное описание

В настоящем изобретении обработка КШ включает процесс нагрева, в котором осуществляют нагрев КШ до очень высоких температур, например, выше 1200°C, а в некоторых вариантах осуществления - выше 1400°C, для очистки КШ и удаления токсичных компонентов, таких как гидроксид натрия, процесс дробления, в котором осуществляют дробление или измельчение КШ в шаровой мельнице до тонкодисперсного порошка, например, 200 меш, и процесс физического извлечения для того, чтобы извлечь из КШ металлы, такие как железо, алюминий и титан, и оставить безопасный кремнеземный агломерат. Процесс нагрева очищает КШ, чтобы сделать ранее токсичный КШ безвредным и неопасным для окружающей среды. Весь процесс по настоящему изобретению выполняют без добавления каких-либо химических веществ к КШ, что позволяет осуществлять процесс везде, где доступна тепловая энергия, и избежать добавления токсичных химических веществ к и так уже токсичному материалу. Кроме того, поскольку в процесс не добавляются никакие химические вещества, не требуется никакой дополнительной очистки или утилизации химических побочных продуктов для получения нетоксичных, безвредных для окружающей среды материалов в результате процесса согласно настоящему изобретению.

Фиг. 1 иллюстрирует схематическую конфигурацию примерной системы для обработки КШ в соответствии с первым вариантом осуществления данного изобретения, а фиг. 2 - блок-схему последовательности операций примерной системы способа обработки КШ с использованием системы по фиг. 1 или с использованием подобных систем. Как показано на фиг. 1, система 100 включает в себя одну или более горелок 102 для обеспечения тепла и пламени для процесса нагрева, устройство 104 очистки, в котором очищают

КШ, нагревательную трубу 106, в которой КШ далее обрабатывается с использованием тепла, дробилку 108 для дробления КШ, магнитный сепаратор 110 для отделения магнитных компонентов от обработанного и раздробленного КШ, и циклонный сепаратор 112 для разделения остальных компонентов в КШ. Горелка 102 может содержать газогенераторную горелку, которая использует биомассу в качестве топлива, циклонную горелку, горелку прямого розжига, высокотемпературную (НТР) горелку, электродугую печь, индукционную печь или горелку любого иного типа, которая работает на любом топливе и которая способна создавать высокую температуру по меньшей мере 1200°C, а предпочтительно по меньшей мере 1400°C. В некоторых вариантах осуществления горелка 102 содержит трубу в трубе, при этом топливо, например газ, подается через внутреннюю трубу и поджигается, в то время как наружная труба подает воздух для увеличения мощности горения горелки 102. Внутренняя труба может иметь множество отверстий для приема воздуха, подаваемого наружной трубой. Размер горелки 102 может варьироваться таким образом, что горелка может иметь малый или большой размер проходного сечения, и может иметь малую или большую длину, чтобы обеспечивать тепловую энергию, необходимую для нагрева КШ до температуры выше 1400°C.

Примерная горелка 102, которая может использоваться в системе по фиг. 1, представлена на фиг. 4А и 4В, где показана горелка/газогенератор. На фиг. 4А горелка 102 выключена, тогда как на фиг. 4В горелка работает и генерирует пламя, которое будет воздействовать на КШ. Примерной горелкой 102, используемой в системе, может быть горелка Nauck® Eco-star II, представляющая собой блочную многотопливную горелку с низким выбросом NOx. Для системы по настоящему изобретению подходит любая другая горелка, способная обеспечивать нагрев до температур 2000°C. Дополнительно, размер горелки может варьироваться в зависимости от количества подлежащего обработке КШ и размера системы 100. В некоторых вариантах осуществления горелка 102 может представлять собой существующую горелку, изготовленную другой компанией, например, Nauck®, и может быть изготовлена на заказ для использования в системе 100. Например, некоторые трубопроводы, включая выпускной трубопровод, могут быть сняты с горелки, чтобы сделать ее более компактной и пригодной для ее сопряжения с трубопроводом системы. Дополнительно, горелка 102 может быть изготовлена на заказ таким образом, чтобы для работы требовалось питание 110 В с тем, чтобы ограничить размер генератора и обеспечить возможность работы в любой части мира. В некоторых иллюстративных вариантах осуществления горелке 102 для работы требуется генератор на 5-7 кВт. Например, вышеупомянутая горелка Nauck® Eco-star II использует трехфазный электродвигатель для подачи в нее воздуха, и в некоторых вариантах осуществления эта горелка может быть модифицирована заменой трехфазного электродвигателя и соответствующего оборудования подачи воздуха на другое, более экономичное оборудование, такое как воздуходувка, электродвигатель воздуходувки и/или вентилятор. Горелки других типов могут быть изготовлены на заказ аналогичным образом, чтобы работать с питанием 110 В и быть более экономичными и энергоэффективными.

В некоторых вариантах осуществления горелка 102 генерирует пламя так, что КШ подвергается воздействию пламени, при этом нагреваясь. В некоторых вариантах осуществления множество имеющихся меньший или такой же размер горелок или источников пламени могут быть обеспечены вдоль устройства 104 очистки и могут использоваться в дополнение к или вместо основной горелки большего размера. Множество горелок меньшего размера могут включать в себя, но не ограничиваясь этим, высокотемпературные горелки для сжигания сорняков, способные обеспечивать нагрев до 2000°C. В иллюстративном варианте осуществления, который использует устройство 104 очистки, представленное на фиг. 5А-5Е и описываемое ниже, множество горелок обеспечивают тепло и направляют пламя в устройство 104 очистки без необходимости в горелке большего размера для устройства 104 очистки.

Топливо, используемое в горелке(ах) для генерирования пламени и тепловой энергии и для нагрева КШ до 1200°C или выше, а предпочтительно до 1400°C или выше, включает любой источник тепла, такой как газ, биогаз, синтетический газ, биомасса, электричество, уголь, угольный порошок, микроволны, гранулы из переработанных сточных вод, отработанное масло, плазма, отходы деревообработки, например, древесные опилки или пеллеты, кукурузная шелуха, ореховая скорлупа, солома, древесина, сельскохозяйственные отходы или комбинация этих топлив.

Устройство 104 очистки включает в себя шнековый конвейер или аналогичный конвейер для транспортировки КШ в устройство 104 очистки, вдоль устройства 104 очистки и из устройства 104 очистки на следующий этап обработки, при этом КШ подвергается воздействию высокой температуры от горелки 102. Устройство 104 очистки принимает КШ предпочтительно после его сушки до содержания влаги менее 30% с использованием фильтрации и/или предварительного нагрева или любого другого подходящего способа. Типично КШ хранят сухим в прудах с использованием сухого складирования, а значит, КШ может подаваться непосредственно из прудов в устройство 104 очистки системы 100. В то время как КШ транспортируется с помощью шнекового конвейера, КШ нагревается до очень высоких температур и подвергается воздействию пламени, создаваемого горелкой 102 и/или вспомогательной(ыми) горелкой(ами). Примерная конфигурация устройства 104 очистки по данному изобретению представлена на фиг. 5А-Е. На фиг. 5А-В показана рама, поддерживающая шнековый конвейер (видимый на фиг. 5С-Д),

закрытый кожухом и включающий в себя три вспомогательных горелки 104а меньшего размера. Шнековый конвейер приводится в действие электродвигателем (видимым на фиг. 5С), присоединенным на конце 104b кожуха 104с, в котором заключен шнековый конвейер и который удерживает КШ по мере того, как его транспортируют через устройство очистки. На фиг. 5С предусмотренный в кожухе 104с шнековый конвейер 104d показан без рамы, и проем в кожухе 104с позволяет увидеть участок предусмотренного в нем шнекового конвейера 104d. На фиг. 5D представлено схематическое изображение шнекового конвейера 104d с удаленной частью кожуха, чтобы открыть шнековый конвейер 104d. На фиг. 5Е показано устройство 104 очистки, прикрепленное к бункеру 103, который подает подлежащий обработке КШ в устройство 104 очистки, и устройство 104 очистки расположено смежным с нагревательной трубой 106, которая принимает очищенный КШ из устройства 104 очистки. Когда система 100 по настоящему изобретению собрана, устройство 104 очистки или его концевая часть, которая сообщается по текучей среде с нагревательной трубой 106, могут быть заключены в корпус (не показан), чтобы удерживать подлежащий обработке КШ.

Хотя иллюстративный вариант устройства 104 очистки на фиг. 5А-Е использует для устройства очистки шнековый конвейер, в других вариантах осуществления КШ может подаваться самотеком через устройство очистки вместо шнекового конвейера. В других вариантах осуществления внутри устройства очистки может быть создан циклон с помощью пламени, создаваемого горелкой, и циклон может использоваться вместе со шнековым конвейером или может использоваться вместо шнекового конвейера. В некоторых вариантах осуществления для очистки КШ может использоваться система с псевдооживленным слоем. Кроме того, величина и габаритные размеры устройства очистки могут варьироваться в зависимости от требований на месте и количества подлежащего обработке КШ. В некоторых вариантах осуществления могут использоваться множественные устройства 104 очистки, имеющие одинаковое или разное строение, и такие устройства очистки могут быть соединены последовательно или параллельно.

В устройстве 104 очистки КШ нагревается до по меньшей мере 1200°C, а предпочтительно до 1400°C. В некоторых вариантах осуществления КШ нагревают до температуры в диапазоне 1400-2000°C. КШ предпочтительно подвергается воздействию этой температуры в течение до 5 мин. Воздействие на КШ пламени и нагрев КШ до температуры 1400°C или выше преобразует кремнеземные компоненты в КШ в стекло и удаляет гидроксид натрия из КШ. В результате КШ, выходящий из устройства очистки, является неопасным и имеет нейтральный рН или почти нейтральный рН. Дополнительно, воздействие на КШ пламени и тепла могут восстановить часть или все железо в КШ.

За счет использования шнекового конвейера или аналогичного конвейера, который транспортирует КШ вдоль устройства очистки, при этом перемешивая или встряхивая КШ, все частицы КШ равномерно подвергаются воздействию тепла от пламени так, чтобы удалить или по существу удалить гидроксид натрия в КШ и преобразовать кремнеземные компоненты в КШ в стекло. Дополнительно, воздействие на КШ пламени горелки (горелок) 102 вызывает разделение частиц или зерен КШ и гарантирует, что каждая частица или зерно КШ подвергается воздействию пламени, так что каждая частица или зерно КШ достигает желаемой температуры по меньшей мере 1200°C, а предпочтительно в диапазоне 1400-2000°C. Кроме того, применение шнекового или аналогичного конвейера позволяет непрерывно использовать систему 100 для обработки КШ на постоянной основе, что позволяет обрабатывать большие количества КШ.

В некоторых вариантах осуществления системы 100 горелка 102, подобная показанной на фиг. 4А-4В, включает в себя трубу или выпускной канал, из которого выходит пламя во время ее работы. В этих вариантах осуществления устройство 104 очистки может быть образовано путем удлинения этого выпускающего пламя канала горелки 102 и установки шнекового конвейера внутри удлиненного выпускного канала, который выполняет функцию кожуха для шнекового конвейера. В этой конфигурации устройства 104 очистки КШ вводят с помощью шнекового конвейера в удлиненный выпускной канал либо возле конца, ближнего к пламени, либо на конце, более удаленном от пламени. В любом случае, пламя внутри удлиненного выпускного канала и поступающий воздух будут создавать циклон, вызывая движение или перемешивание частиц или зерен в подаваемом КШ. В результате происходит разделение частиц или зерен КШ при их столкновении с пламенем, и каждая отдельная частица или зерно достигает желаемой температуры по меньшей мере 1200°C, а предпочтительно в диапазоне 1400-2000°C.

После того, как КШ прошел термическую обработку в устройстве 104 очистки, КШ транспортируется в нагревательную трубу 106, где он подвергается второму процессу нагрева при более низкой температуре. Этот второй процесс нагрева представляет собой процесс прокаливания. В некоторых вариантах осуществления КШ подают с помощью шнекового конвейера из устройства 104 очистки в нагревательную трубу 106, где КШ охлаждается и поддерживается при температуре между 600 и 1400°C. В некоторых вариантах осуществления температура в нагревательной трубе 106 составляет между 800 и 1500°C. Нагревательная труба 106 в этом иллюстративном варианте осуществления содержит вращающуюся трубчатую печь или аналогичную печь. Альтернативно, в качестве нагревательной трубы 106 в системе 100 может использоваться трубчатая печь для обжига цемента или любая другая печь. Во время второго процесса нагрева КШ подвергается дальнейшей обработке с тем, чтобы завершить преобразование кремнезема в стекло, если необходимо, и восстановить железо и оксиды железа в КШ с получением металлического железа (Fe) и ряда оксидов железа. В частности, двухступенчатый процесс нагрева в уст-

ройстве 104 очистки и нагревательной трубе 106 восстанавливает соединения железа в КШ до оксидов железа, включая гематит (Fe_2O_3) и магнетит (Fe_3O_4), и до металлического железа (Fe). В зависимости от содержания железа и оксидов железа в обрабатываемом КШ, получаемый в результате обработанный КШ включает в себя металлическое железо (Fe) и различные количества гематита (Fe_2O_3), гетита (FeO) и магнетита (Fe_3O_4).

Чтобы гарантировать полную обработку КШ и существенное восстановление железа в КШ во время второго процесса нагрева, нагревательная труба 106 по настоящему изобретению содержит вращающуюся трубчатую печь или вращающуюся нагревательную печь, которая, в некоторых вариантах осуществления, включает в себя множество ребер или перегородок для обеспечения тщательной обработки КШ. Примерная нагревательная труба 106 показана на фиг. 6А-С. На фиг. 6А представлена фотография участка нагревательной трубы 106, и на фиг. 6В-С показаны противоположные отверстия нагревательной трубы, которые демонстрируют конструкцию ребер, предусмотренных внутри трубы. Как показано на фиг. 6В-С, нагревательная труба 106 имеет наружную поверхность и внутреннюю поверхность, и множество перегородок или ребер 107 предусмотрены вдоль внутренней поверхности трубы. В иллюстративном варианте осуществления нагревательной трубы на фиг. 6В показано выпускное отверстие нагревательной трубы 106, а на фиг. 6С показано выпускное отверстие нагревательной трубы 106. В других вариантах осуществления эти отверстия могут поменяться местами, или выпускное и выпускное отверстия могут иметь одинаковую или практически одинаковую конфигурацию с практически одинаковыми ребрами и их расположением.

В некоторых вариантах осуществления нагревательная труба 106 включает в себя первую секцию 106а, которая открыта на впуске нагревательной трубы, и вторую секцию 106b, которая открыта на выпуске нагревательной трубы. Первая и вторая секции 106а, 106b имеют разные ребра 107 и разные расположения ребер внутри себя. Как показано на фиг. 6В, первая секция имеет множество гребнеобразных ребер 107а, расположенных по резьбовидной схеме под углом на внутренней поверхности нагревательной трубы 106. Вслед за гребнеобразными ребрами 107а в направлении к выпуску нагревательной трубы 106 предусмотрено множество шевронообразных ребер 107b по окружности внутренней поверхности нагревательной трубы 106. Каждое из шевронообразных ребер 107b прикреплено к внутренней поверхности нагревательной трубы 106 на одном конце, в то время как другой конец ребра 107b является незакрепленным. Шевронообразные ребра 107b практически равномерно разнесены друг от друга по окружности внутренней поверхности в первой секции, причем эти ребра 107b не перекрываются друг с другом. Расстояние между ребрами 107b может быть различным и не ограничивается расстоянием, показанным на фиг. 6В. Кроме того, расстояние между ребрами 107b может меняться по длине первой секции 106а так, чтобы увеличивалось или уменьшалось расстояние между соседними ребрами 107b по длине первой секции 106а и в направлении ко второй секции 106b. Дополнительно, шевронообразные ребра 107b могут быть предусмотрены в несколько рядов по длине первой секции 106а, при этом ребра 107b в соседних рядах могут быть выровнены друг с другом или могут быть смещены относительно друг друга.

На фиг. 6С иллюстрируются конфигурация и расположение ребер 107с во второй секции 106b нагревательной трубы 106. Как показано, в данном иллюстративном варианте осуществления каждое ребро 107с в секции 106b имеет шевронообразную форму с двумя пластинчатыми частями, расположенными под углом относительно друг друга. Однако шевронообразные ребра 107с во второй секции 106b расположены под другим углом относительно внутренней поверхности трубы 106, чем шевронообразные ребра 107b в первой секции 106а. В некоторых вариантах осуществления в каждом ребре 107с одна из пластинчатых частей может быть длиннее, чем другая пластинчатая часть, в то время как в других вариантах осуществления пластинчатые части могут иметь практически одинаковую длину. Ребра 107с расположены по окружности внутренней поверхности трубы таким образом, что одна пластинчатая часть каждого ребра прикреплена к или соединена с внутренней поверхностью трубы 106, тогда как другая пластинчатая часть является незакрепленной и немного перекрывается с закрепленной пластинчатой частью соседнего ребра. Хотя соседние ребра в данном варианте осуществления немного перекрываются друг с другом, в других вариантах осуществления ребра могут быть разнесены друг от друга на большее расстояние, так что они не перекрываются друг с другом, или они могут быть разнесены друг от друга на меньшее расстояние, обеспечивая большее перекрывание. Кроме того, как можно увидеть на фиг. 6В, ребра 107с расположены в несколько рядов по длине трубы 106, при этом соседние ряды смещены на заданное расстояние, например, $1/3$ или $1/2$ ширины ребра.

Конфигурация ребер и их расположение внутри трубы 106 способствует желаемому смешиванию и перемешиванию КШ внутри трубы при вращении трубы 106. В результате все частицы или зерна КШ подвергаются воздействию тепла и термически обрабатываются внутри трубы 106. Изменяя расположение и конфигурацию ребер по длине трубы, смешиванием и перемешиванием КШ внутри трубы управляют так, чтобы обеспечивать большее смешивание и перемешивание в определенных областях, например, в области шевронообразных ребер 107b первой секции, по сравнению с другими областями трубы.

Во время работы нагревательная труба 106 вращается и подводит тепло с тем, чтобы поддерживать температуру выше 600°C , или в пределах заданного диапазона температур, например, $600-1400^\circ\text{C}$ или $800-1500^\circ\text{C}$ или $600-1500^\circ\text{C}$. Температурой в нагревательной трубе 106 можно управлять вручную или

автоматически, используя термопару для измерения температуры в нагревательной трубе 106. КШ, подаваемый в нагревательную трубу 106, охлаждается от температуры 1200°C или выше до 600-1500°C, когда частицы КШ сталкиваются с ребрами 107а и внутренними боковыми стенками нагревательной трубы 106. Кроме того, ввод воздуха вместе с вводом КШ и вращение нагревательной трубы 106 создает циклонное или такое движение газа внутри нагревательной трубы 106, что частицы или зерна КШ подвергаются воздействию тепла, и все или практически все железо в КШ восстанавливается. Хотя это не показано на фигурах, в некоторых вариантах осуществления с нагревательной трубой 106 может использоваться горелка, такая как горелка, показанная на фиг. 4А-4В, чтобы создавать циклон и способствовать перемещению частиц внутри трубы 106.

В иллюстративном примере нагревательной трубы 106, показанной на фиг. 6А-С, нагревательная труба 106 имеет длину 90 футов (27,43 м) и диаметр 8-10 футов (2,44-3,05 м) и включает в себя две секции, которые имеют множество ребер с разным расположением. В других вариантах осуществления ребра могут иметь одинаковую форму и могут быть расположены одинаковым образом по всей нагревательной трубе, или ребра могут иметь одинаковую форму и располагаться по-разному между двумя или более секциями. В нагревательной трубе могут быть предусмотрены дополнительные секции с одинаковым или различным расположением ребер, или без каких-либо ребер. В других вариантах осуществления длина нагревательной трубы может варьироваться и быть меньшей или большей, в зависимости от расположения и требований системы, окружения и требований, предъявляемых местом работы. Диаметр нагревательной трубы также может варьироваться, в частности в зависимости от количества подлежащего обработке КШ. В некоторых вариантах осуществления длина нагревательной трубы 106 составляет 40-50 футов (12,19-15,24 м), а диаметр нагревательной трубы 106 составляет 8-10 футов (2,44-3,05 м). Дополнительно, ребра, показанные на фиг. 6А-С, могут отсутствовать в некоторых нагревательных трубах или в некоторых секциях нагревательной трубы, и в некоторых вариантах осуществления могут использоваться другие методы смешивания и перемешивания. В некоторых вариантах осуществления могут использоваться множественные нагревательные трубы, которые могут быть расположены параллельно или последовательно, и эти нагревательные трубы могут иметь одинаковые или разные конфигурации. Например, множество нагревательных труб 106, имеющих практически одинаковую конфигурацию, могут быть размещены параллельно и могут вращаться, используя один и тот же электродвигатель или используя отдельные электродвигатели, чтобы экономичным образом обеспечить более высокую производительность переработки КШ. Кроме того, хотя на фиг. 1 и 6А-6С показана расположенная горизонтально нагревательная труба 106, в других вариантах осуществления нагревательная труба 106 может быть расположена вертикально, при условии, что нагревательная труба может нагревать КШ до требуемой температуры.

Хотя это и не показано на фиг. 1, температурой в устройстве 104 очистки и/или нагревательной трубе 106 можно управлять с помощью контроллера, запрограммированного принимать информацию о температуре, измеряемой в устройстве 104 очистки и/или нагревательной трубе 106, и регулировать одну или более горелок 102 и/или нагревательную трубу 106 для подачи большего или меньшего количества тепла на основе принимаемой информации. Контроллер может включать в себя один или более процессоров или цепей для выполнения вышеуказанных управляющих функций.

После термической обработки в устройстве 104 очистки и нагревательной трубе 106 обработанный КШ включает магнитные оксиды железа (Fe_2O_3 , FeO и Fe_3O_4), некоторое количество магнитного железа (Fe) и смесь немагнитных оксидов кремния, титана и алюминия со следовыми количествами других оксидов. Обработанный КШ подвергли анализу с использованием рентгеновской дифракции для определения его компонентов. В табл. 1 и 2 представлены результаты этого анализа на образцах обработанного КШ с № КШ1 и КШ2.

Таблица 1
Образец КШ1

Название соединения	Формула	Система	Концентрация
Нефелин (Na-замещенный)	$\text{Na}_{6,65}\text{Al}_{6,24}\text{Si}_{9,76}\text{O}_{32}$	Гексагональная	34,5%
Магнетит, синт.	Fe_3O_4	Кубическая	15,6%
Герцинит, синт.	FeAl_2O_4	Кубическая	12,8%
Гетит, синт.	$\text{FeO}(\text{OH})$	Орторомбическая	9,1%
Глинозем Оксид алюминия	Al_2O_3		8,0%
Вюстит, синт.	FeO	Кубическая	7,9%
Оксид алюминия	Al_2O_3	Моноклинная	6,4%
Кварц	SiO_2	Гексагональная	5,7%

Таблица 2
Образец КШ2

Название соединения	Формула	Система	Концентрация
Канкринит, синт.	$\text{Na}_8(\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24})(\text{OH})_{2,04}(\text{H}_2\text{O})_{2,66}$	Гексагональная	24,4%
Гематит	Fe_2O_3	Ромбоэдрическая	20,7%
Клиноферросилит, синт	FeSiO_3	Моноклинная	14,6%
Анализ, синт.	TiO_2	Тетрагональная	12,9%
Кварц	SiO_2	Гексагональная	11,8%
Бемит, синт.	$\text{AlO}(\text{OH})$	Орторомбическая	8,4%
Гиббсит	$\text{Al}(\text{OH})_3$	Моноклинная	7,1%

Хотя на фиг. 1 показана система, в которой горелка 102 и устройство 104 очистки используются на первой стадии нагрева, а нагревательная труба 106 используется на второй стадии нагрева, в других вариантах осуществления вторая стадия нагрева с использованием нагревательной трубы 106 может осуществляться перед выполнением первой стадии нагрева с использованием горелки 102 и устройства 104 очистки. В других вариантах осуществления вторая стадия нагрева может включать множественные стадии прокаливания, которые осуществляются с использованием отдельных нагревательных труб, подобных описанной выше, или осуществляются с использованием одной и той же нагревательной трубы, выполненной с возможностью проведения многостадийной обработки. В других вариантах осуществления две стадии нагрева могут быть скомбинированы, так что выполняется одна единственная стадия нагрева. В этих вариантах осуществления КШ нагревают до по меньшей мере 1200°C, а предпочтительно до 1400-2000°C, и подвергают воздействию одного или более пламеней с использованием горелки (горелок) 102, при этом КШ транспортируется через нагревательную трубу 106, которая вращается так, чтобы способствовать тщательной обработке КШ для удаления токсичных компонентов, таких как гидроксид натрия, для преобразования кремнеземных компонентов в стекло и для восстановления железных компонентов до металлического железа (Fe) и ряда оксидов железа. В таких вариантах осуществления шнековый конвейер может отсутствовать, или шнековый конвейер может использоваться в нагревательной трубе 106 для транспортировки КШ к нагревательной трубе 106 и/или для транспортировки КШ через по меньшей мере участок нагревательной трубы 106.

Кроме того, в некоторых вариантах осуществления горелка 102 и устройство 104 очистки и/или нагревательная труба 106 могут быть расположены после дробилки 108, описываемой более подробно ниже. Однако в иллюстративном варианте осуществления по фиг. 1 дробилка 108 расположена после нагревательной трубы 106, так что дробилка 108 принимает обработанный и неопасный КШ. Дробилка 108 может включать шаровую мельницу, использующую стальные или любые другие подходящие шары, или измельчающее оборудование любого другого типа, пригодное для помола или измельчения сухого порошка. В данном варианте осуществления обработанный КШ может быть охлажден перед его подачей в дробилку 108 с использованием теплообменников, атмосферы или других подходящих средств охлаждения, таких как быстрое охлаждение в воде или другой охлаждающей жидкости. В некоторых вариантах осуществления тепло может быть извлечено из обработанного КШ во время процесса охлаждения и использовано внутри для нагрева КШ, подаваемого в систему, или снаружи для других целей, например, нагрева воды.

После приема в дробилке 108 охлажденный обработанный КШ измельчается до размера частиц 200

меш или меньше. Измельчение обработанного КШ отделяет частицы железа и оксидов железа от других оксидов металлов, которые не были восстановлены во время процессов нагрева. В результате измельченный порошок обработанного КШ может быть физически разделен на его компоненты в сухом состоянии. Примерная дробилка 108 показана на фиг. 7 и представляет собой дробилку шарового помола.

После того, как обработанный КШ измельчен в дробилке 108, КШ поступает в магнитный сепаратор 110 для магнитной сепарации железа и оксидов железа, полученных во время обработки. В частности, существующее оборудование магнитной сепарации может использоваться для извлечения из обработанного КШ магнитных материалов, включая железо и оксиды железа. В некоторых вариантах осуществления, в зависимости от напряженности магнитного поля, установленной в магнитном сепараторе 110, оксид(ы) титана также может (могут) быть извлечены магнитным способом, в дополнение к железу и оксидам железа. Такое магнитное извлечение оксида(ов) титана может осуществляться в качестве отдельной стадии магнитной сепарации после проведения магнитной сепарации железа и оксидов железа. В некоторых вариантах осуществления могут использоваться множественные магнитные сепараторы 110 для отделения железа и оксидов железа и/или для отделения оксида(ов) титана, и эти сепараторы могут быть соединены параллельно или последовательно. Магнитная сепарация железа и оксидов железа привлекает более 90% железа/оксидов железа, присутствующих в обработанном КШ, и, в частности, примерно от 96 до 100% содержащихся железа/оксидов железа. Дополнительно, магнитная сепарация приводит к получению высококачественного продукта, содержащего концентрированный оксид железа, который можно легко и экономично использовать напрямую для производства стали, в электродуговых печах и для других применений.

После проведения магнитного извлечения магнитных компонентов (железа, оксидов железа и, в некоторых вариантах осуществления, оксидов титана) из порошка обработанного КШ, остальной КШ поступает в циклонный сепаратор 112 для отделения оставшихся в КШ немагнитных компонентов, включая оксиды титана и алюминия, на основе их веса. Циклонный сепаратор 112 использует гравитационную сепарацию для отделения оксида алюминия и оксида титана от конечного остатка, который включает в основном кремнеземные компоненты. В некоторых вариантах осуществления циклонный сепаратор 112 представляет собой гидроциклон, а в других вариантах осуществления циклонный сепаратор представляет собой вихревой или гравитационный сепаратор другого типа, включая, но не ограничиваясь этим, обычные отсадочные машины, шлюзовые устройства, спиральные устройства, центробежные отсадочные машины, концентрационные столы, флотационные устройства и т.д. В некоторых вариантах осуществления множественные циклонные сепараторы или гравитационные сепараторы могут использоваться параллельно или последовательно для увеличения производительности и/или для полной сепарации.

Гравитационная сепарация с использованием циклонного сепаратора 112 приводит к отделению оксида алюминия и оксида титана от прошедшего магнитную сепарацию КШ, оставляя кремнеземный остаток, включающий кремнеземные компоненты и другие неосновные элементы. Этот кремнеземный остаток может использоваться в строительстве и производстве кирпича, бетона или цемента.

Как было рассмотрено выше, система 100 по фиг. 1 способна обрабатывать КШ, чтобы сделать его безопасным для окружающей среды и эффективно утилизировать ценные компоненты КШ без добавления химических веществ к КШ. Способ обработки КШ с использованием системы по фиг. 1 или любой другой подходящей системы представлен на фиг. 2.

Как показано на фиг. 2, процесс включает этап очистки S201, на котором нагревают КШ до 1200°C или выше, а предпочтительно до 1400°C или выше, для очистки КШ с тем, чтобы удалить токсичные компоненты, такие как гидроксид натрия, и преобразовать кремнезем в стекло. Этап очистки S201 может осуществляться с использованием горелки (горелок) 102 и устройства 104 очистки системы по фиг. 1.

После процесса очистки на этапе S201, КШ далее подвергается термической обработке на этапе прокаливания S202, на котором КШ нагревают до 600°C или выше, а предпочтительно до температурного диапазона 600-1500°C, или 600-1400°C, или 800-1500°C. Во время этапа прокаливания S202 железные компоненты в КШ восстанавливаются с получением металлического железа (Fe) и ряда различных оксидов железа, как было описано выше. Этап прокаливания S202 может осуществляться в нагревательной трубе 106 системы по фиг. 1.

После прокаливания КШ на этапе S202 обработанный КШ дробят или измельчают до тонкодисперсного порошка примерно 200 меш, а предпочтительно 200 меш или меньше, на этапе измельчения S203. Этап измельчения S203 может осуществляться с использованием дробилки 108 системы по фиг. 1.

Хотя на фиг. 2 показано, что этап очистки S201 выполняется первым, с последующим этапом прокаливания S202 и с последующим этапом измельчения S203, в других вариантах осуществления этап прокаливания S202 может выполняться перед этапом очистки S201, а в еще других вариантах осуществления этап измельчения S203 может выполняться перед одним или более из этапа очистки S201 и этапа прокаливания S202. Порядок выполнения этапов S201-S203 может варьироваться в зависимости от потребностей обработки, используемого оборудования и состояния КШ. Расположение компонентов системы на фиг. 1 может варьироваться аналогичным образом, в зависимости от порядка выполнения этапов S201-S203. После выполнения этапов S201-S203 получаемый в результате обработанный КШ содержит

нетоксичный, безопасный для окружающей среды тонкодисперсный порошок, который включает в себя железо, оксиды железа, оксиды алюминия, оксиды титана, кварц и/или соединения кремнезема, как было рассмотрено выше в отношении фиг. 1.

Этот обработанный КШ подвергают магнитной сепарации железа и оксидов железа на этапе магнитной сепарации S204 так, чтобы получить на выходе материалы из железа и оксидов железа. Железо и оксиды железа, извлеченные на этапе магнитной сепарации S204, могут быть спрессованы в кирпичи или брикеты, которые затем могут напрямую использоваться непосредственно для производства стали в электродуговых печах. Этап магнитной сепарации может осуществляться с использованием магнитного сепаратора 110 в системе по фиг. 1.

Хотя это не показано на фиг. 2, в некоторых вариантах осуществления этап магнитной сепарации S204 может дополнительно включать второй процесс магнитной сепарации с использованием магнитного поля высокой напряженности для удаления оксида титана из обработанного КШ. Этот второй этап магнитной сепарации может осуществляться после магнитного извлечения железа и оксидов железа из обработанного КШ, или после удаления алюминия из КШ на описываемом ниже этапе S205. Второй этап магнитной сепарации может осуществляться с использованием того же магнитного сепаратора, используемого для отделения железа и оксидов железа, с настройками более высокой напряженности магнитного поля, или может осуществляться в отдельном магнитном сепараторе.

После этапа магнитной сепарации S204 по отделению железа и оксидов железа, оставшийся КШ подвергается физической сепарации на этапе S205 для отделения алюминия, кремнезема и титана с использованием гравитационной сепарации. Как было рассмотрено выше, алюминий, титан и другие металлические компоненты могут быть отделены из-за их веса с использованием циклонного сепаратора или гравитационного сепаратора другого типа. Циклон 112 по фиг. 1 может использоваться для осуществления этапа S205. Этап физической сепарации может выделять частицы оксида алюминия и, отдельно, частицы оксида титана. В качестве альтернативы, этап физической сепарации S205 может выделять частицы оксида алюминия и оксида титана, оставляя кремнеземный агломерат с неосновными компонентами, и после этого отделенные оксиды алюминия и титана подвергают магнитной сепарации с высокой напряженностью для извлечения оксида титана.

Кремнеземный агломерат, получаемый с помощью этапа физической сепарации S205 или комбинации этапа физической сепарации S205 и магнитной сепарации с высокой напряженностью, может быть утилизирован по другим назначениям, например, для применений в строительстве. В некоторых вариантах осуществления кремнеземный агломерат может быть подвергнут дальнейшей обработке для извлечения содержащихся в нем неосновных элементов, таких как ванадий, марганец и хром.

Способ по фиг. 2 может осуществляться с использованием системы, показанной на фиг. 1, или с использованием модифицированной системы 300, показанной на фиг. 3А-3В. Система 300 по фиг. 3А-3В включает в себя аналогичные или практически такие же компоненты, как и система по фиг. 1. В частности, иллюстративная система 300, показанная на фиг. 3А, включает в себя одну или более горелок 302, обеспечивающих тепло и/или пламя в устройстве 304 очистки, нагревательную трубу 306, дробилку 308, магнитный сепаратор 310 и циклонный сепаратор 312. Как и в системе по фиг. 1, иллюстративное устройство 304 очистки включает в себя шнековый конвейер для транспортировки КШ вдоль устройства 304 очистки и одну или более горелок 302, которые обеспечивают тепло и могут вводить пламя в устройство очистки с тем, чтобы нагревать КШ до по меньшей мере 1200°C, а предпочтительно до по меньшей мере 1400°C, или в диапазоне температур 1400-2000°C. Подвергнутый очистке КШ затем транспортируют к нагревательной трубе 306, которая может содержать вращающуюся трубчатую печь или т.п., включает в себя множество ребер 307, как описано выше в отношении фиг. 1, 6А-6С, и которая вращается, нагревая КШ до 600-1500°C или поддерживая КШ при этой температуре, как описано выше, или в диапазоне 600-1400°C или 800-1500°C. Как и в вариантах осуществления по фиг. 1, температуру в устройстве 304 очистки и нагревательной трубе 306 можно измерять с помощью термопары или другого подходящего датчика температуры, и ею можно управлять вручную или автоматически. Хотя это не показано на фиг. 3А, температурой в устройстве 304 очистки и/или нагревательной трубе 306 можно управлять с помощью контроллера, запрограммированного принимать информацию о температуре, измеренной в устройстве 304 очистки и/или нагревательной трубе 306, и регулировать одну или более горелок 302 и/или нагревательную трубу 306 для подачи большего или меньшего количества тепла на основе принятой информации. Контроллер может включать в себя один или более процессоров или цепей для осуществления вышеуказанного управления.

Как показано на фиг. 3А, обработанный КШ, выходящий из нагревательной трубы 306, охлаждается, что может быть осуществлено в секции охлаждения, следующей за нагревательной трубой 306, используя теплообменники или подобные устройства, а после этого КШ транспортируется к дробилке 308, которая измельчает, дробит или мелет КШ до тонкодисперсного порошка с размером частиц примерно 200 меш или меньше. Тонкодисперсный порошок КШ затем транспортируют к магнитному сепаратору 310 для магнитного извлечения железа и оксидов железа из КШ, а затем транспортируют к циклонному сепаратору 312 для физического отделения алюминия и титана от кремнеземного агломерата с использованием гравитационной сепарации. Как было рассмотрено выше в отношении фиг. 1 и 2, оксиды титана

могут быть отделены с использованием магнитной сепарации с высокой напряженностью либо после, либо до физической сепарации соединений алюминия из КШ. Как было также рассмотрено выше, кремнеземный агломерат может быть подвергнут дальнейшей переработке и/или применен для других целей, например в строительстве и для производства бетона или цемента.

Как показано на фиг. 3А, по меньшей мере некоторые из компонентов системы 300 заключены или частично заключены в корпус 301, который может быть выполнен в виде трубы или вращающейся трубы или вращающейся трубчатой печи. В некоторых вариантах осуществления горелка 302, устройство 304 очистки, нагревательная труба 306, дробилка, магнитный сепаратор 310 и/или циклонный сепаратор 310 имеют практически такую же конфигурацию, как и соответствующие компоненты системы 100 по фиг. 1, и эти компоненты размещены внутри или частично внутри корпуса 301.

В других вариантах осуществления корпус 301 образует множество секций, каждая из которых соответствует некоторым или всем из компонентов 302-312, показанным на фиг. 3, так что каждая операция соответствующих компонентов 302-312 реализуется внутри корпуса 301. Например, в некоторых вариантах осуществления корпус 301 содержит вращающуюся трубу, имеющую множество секций, причем первая секция соответствует секции 304 очистки и включает в себя одну или более горелок 302, которые могут быть заключены или частично заключены в корпусе 301 или расположены снаружи от него, секцию 306 прокаливания, включающую в себя множество ребер 307 и, в некоторых случаях, включающую в себя один или более источников нагрева (например, дополнительную горелку), секцию 308 дробления, которая включает в себя дробильное или измельчающее оборудование, такое как множество стальных мелющих шаров, секцию 310 магнитной сепарации, которая включает в себя один или более магнитов для создания магнитного поля таким образом, чтобы отделять железо и оксиды железа от порошка обработанного КШ, и секцию 312 гравитационной физической сепарации, которая отделяет оставшиеся компоненты, используя силу тяжести. В некоторых вариантах осуществления корпус 301 дополнительно включает в себя одну или более секций охлаждения, следующих за секцией 304 очистки и/или следующих за секцией 306 прокаливания. В качестве альтернативы, секция 306 дробления может служить секцией охлаждения в то время, как обработанный КШ подвергается дроблению или измельчению. Такие секции охлаждения могут включать в себя один или более теплообменников или другое охлаждающее оборудование. В некоторых вариантах осуществления систем по фиг. 1 и 3 нагревательная труба 106/306 или секция 306 прокаливания в корпусе 301 может включать в себя множественные трубы или множественные ступени прокаливания.

В некоторых иллюстративных вариантах осуществления системы по фиг. 3 корпус 301 содержит вращающуюся трубу и включает в себя циклонную горелку 302, или любую другую подходящую горелку, для обеспечения тепла и/или пламени в первых двух секциях, т.е. секции 304 очистки и секции 306 прокаливания, чтобы удалить из КШ токсичные материалы, такие как гидроксид натрия, и восстановить железо и оксид железа в КШ. Циклонная горелка 302 может быть предусмотрена на входе во вращающийся трубчатый корпус 301, как показано на фиг. 3, или может включать в себя одну или более горелок по длине первой и/или второй секций, в дополнение к циклонной горелке 302 или вместо циклонной горелки. КШ может подаваться в первую секцию вращающегося трубчатого корпуса с помощью шнекового конвейера или любого другого подходящего конвейера. Вращающийся трубчатый корпус 301 в этих вариантах осуществления также включает в себя третью секцию, т.е. секцию 308 охлаждения и дробления, следующую за первой и второй секциями, для охлаждения обработанного КШ и дробления КШ до тонкодисперсного порошка, имеющего размер частиц примерно 200 меш или меньше, используя металлические мелющие шары или другие подходящие дробильные устройства. Следующая за третьей секцией четвертая секция, т.е. магнитный сепаратор 310, извлекает магнитные компоненты, включая железо и оксиды железа, из порошка КШ. Пятая секция, т.е. циклонный сепаратор 312, также может быть предусмотрена во вращающемся трубчатом корпусе 301 для отделения других компонентов в КШ, таких как алюминиевые и/или титановые компоненты, от остающегося кремнеземного агломерата. В некоторых вариантах осуществления циклонный сепаратор 312 может быть предусмотрен снаружи от вращающегося трубчатого корпуса 301 и будет принимать КШ после того, как он подвергнут магнитной сепарации в четвертой секции. Хотя в описываемых выше вариантах осуществления КШ обрабатывают, используя вначале нагрев и после этого дробление или помол перед процессами извлечения, в других вариантах осуществления КШ может подвергаться дроблению или помолу перед процессами нагрева или между двумя процессами нагрева. Кроме того, хотя устройство очистки/секция очистки 304 в вариантах осуществления по фиг. 3А предшествует нагревательной трубе/секции прокаливания 306, в других вариантах осуществления порядок размещения устройства очистки/секции очистки 304 и нагревательной трубы/секции прокаливания 306 может быть обратным. Кроме того, в других вариантах осуществления устройство очистки/секция очистки 304 может быть скомбинировано(а) вместе с нагревательной трубой/секцией прокаливания 306 с тем, чтобы иметь только одну секцию нагрева.

В некоторых вариантах осуществления используются множественные вращающиеся трубчатые корпуса 301, имеющих описанную выше конструкцию, как показано на фиг. 3В. Множественные вращающиеся трубчатые корпуса 301 могут приводиться в движение с помощью одного или более электродвигателей, а в некоторых вариантах осуществления только один электродвигатель используется для

привода во вращательное движение всех корпусов 301. При использовании множественных вращающихся трубчатых корпусов 301 может одновременно обрабатываться большее количество КШ при более низких затратах.

Применение вращающегося трубчатого корпуса 301 позволяет выполнять множественные этапы обработки КШ внутри одной трубы. Как было описано выше, трубчатый корпус включает в себя область нагрева, которая принимает КШ и нагревает КШ, при этом создавая циклон для обработки КШ, чтобы удалить токсичные компоненты и восстановить железо и оксиды железа, область охлаждения и дробления, которая охлаждает обработанный КШ и дробит КШ, используя шаровой помол или любой другой подходящий метод помола, дробления или измельчения, и область разделения, которая использует магнитную сепарацию для отделения железа и оксидов железа от обработанного КШ и может включать дополнительную физическую сепарацию для отделения алюминиевых и/или титановых компонентов от кремнеземного агломерата с использованием силы тяжести.

Описанные выше варианты осуществления систем и способа обработки КШ способны перерабатывать большие количества КШ на непрерывной основе с преобразованием токсичного и опасного КШ из прудов хранения в безопасные и полезные компоненты. Описанные выше варианты осуществления используют нагрев для обработки КШ и физическую сепарацию, включая магнитную и гравитационную сепарацию, для отделения разных компонентов КШ без добавления каких-либо химических веществ или добавок. Поэтому не требуется дополнительной очистки КШ или его компонентов, и извлеченные компоненты могут использоваться для различных целей. Например, компоненты железа и оксида железа, извлеченные магнитным способом из обработанного КШ, могут быть особенно пригодны для применения в производстве стали с помощью электродуговой печи и, потенциально, в процессах производства листовой стали. Кроме того, оксид алюминия, извлеченный с помощью гравитационной сепарации, может быть возвращен в процесс Байера или может использоваться для других целей. Кроме того, оставшийся кремнеземный агломерат, который является неопасным для окружающей среды, может использоваться в строительстве и для производства бетона и цемента.

Во всех случаях следует понимать, что вышеописанные компоновки и расположения являются только иллюстрацией множества возможных частных вариантов осуществления, демонстрирующих применения настоящего изобретения. Следует понимать, что несколько описанных выше и других признаков и функций, или их альтернатив, могут быть желательным образом скомбинированы во многих других различных системах или применениях. Специалистами в этой области техники могут быть проделаны различные непредвиденные или не ожидаемые в настоящее время альтернативы, модификации, вариации или улучшения, которые также охватываются прилагаемой формулой изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ обработки красного шлама, включающий:
 - нагрев красного шлама для удаления гидроксида натрия из красного шлама и преобразования кремнеземных компонентов в стекло;
 - измельчение красного шлама до заданного размера частиц; и
 - физическое извлечение по меньшей мере железных компонентов и алюминиевых компонентов из красного шлама,
 - при этом физическое извлечение алюминиевых компонентов выполняют без добавления химических веществ к красному шламу.
2. Способ по п.1, в котором этап нагрева включает первый этап нагрева, на котором нагревают красный шлам до первой температуры для удаления гидроксида натрия из красного шлама, и второй этап нагрева, на котором нагревают красный шлам до второй температуры, более низкой, чем первая температура, для восстановления железных компонентов в красном шламе.
3. Способ по п.2, в котором первая температура составляет по меньшей мере 1400°C, а вторая температура составляет между 600 и 1400°C.
4. Способ по п.1, в котором физическое извлечение включает магнитное извлечение железных компонентов из красного шлама и гравитационную сепарацию алюминиевых компонентов.
5. Система для обработки красного шлама для выполнения способа обработки красного шлама по п.2, содержащая:
 - первую секцию нагрева, предназначенную для выполнения первого этапа нагрева и управляемую для нагрева красного шлама до первой температуры;
 - вторую секцию нагрева, предназначенную для выполнения второго этапа нагрева и управляемую для нагрева красного шлама до второй температуры, более низкой, чем первая температура;
 - дробилку, предназначенную для выполнения этапа измельчения и выполненную с возможностью измельчения красного шлама до заданного размера частиц; и
 - один или более первых и вторых сепараторов для выполнения этапа физического извлечения, причем упомянутые один или более первых сепараторов выполнены с возможностью физического извлечения железных компонентов из красного шлама, а упомянутые один или более вторых сепараторов вы-

полнены с возможностью физического извлечения алюминиевых компонентов из красного шлама.

6. Система по п.5, в которой первая температура является одной из: по меньшей мере 1200°C и между 1400 и 2000°C.

7. Система по п.5, в которой вторая температура составляет между 600 и 1500°C.

8. Система по п.5, дополнительно содержащая контроллер, запрограммированный управлять одной или более из первой секции нагрева для нагрева красного шлама до первой температуры и второй секции нагрева для нагрева красного шлама до второй температуры.

9. Система по п.5, в которой первая секция нагрева содержит шнековый конвейер, выполненный с возможностью транспортировки красного шлама вдоль первой секции нагрева, и один или более нагревателей, выполненных с возможностью создания пламени в первой секции нагрева.

10. Система по п.5, в которой вторая секция нагрева содержит трубчатую печь, имеющую множество ребер вдоль ее внутренней поверхности.

11. Система по п.10, в которой трубчатая печь содержит впускной участок, имеющий множество ребер с первым расположением на его внутренней поверхности, и выпускной участок, имеющий множество ребер со вторым расположением на его внутренней поверхности, отличающимся от первого расположения.

12. Система по п.5, в которой дробилка содержит шаровую мельницу и дополнительно включает в себя секцию охлаждения для охлаждения красного шлама.

13. Система по п.5, в которой упомянутые один или более сепараторов включают один или более из: магнитного сепаратора, выполненного с возможностью извлечения железа и оксидов железа из красного шлама, и циклонного сепаратора для отделения по меньшей мере алюминиевых компонентов от красного шлама с использованием гравитационной сепарации.

14. Система по п.13, в которой магнитный сепаратор дополнительно выполнен с возможностью извлечения оксида титана из красного шлама после извлечения железа и оксидов железа.

15. Система по п.5, дополнительно содержащая корпус, в котором по меньшей мере частично заключены первая секция нагрева, вторая секция нагрева, дробилка и по меньшей мере один из упомянутых одного или более сепараторов.

16. Система по п.15, в которой корпус содержит вращающуюся трубчатую печь, включающую множество областей, заключающих в себе первую секцию нагрева, вторую секцию нагрева, дробилку и упомянутый по меньшей мере один из упомянутых одного или более сепараторов.

17. Система по п.5, в которой упомянутые один или более сепараторов выполнены с возможностью физического отделения упомянутых по меньшей мере железных и алюминиевых компонентов от красного шлама без добавления химических веществ к красному шламу.

18. Система для обработки красного шлама для выполнения способа обработки красного шлама по п.1, содержащая:

секцию нагрева, предназначенную для выполнения этапа нагрева и управляемую для нагрева красного шлама до по меньшей мере 1400°C;

дробилку, предназначенную для выполнения этапа измельчения и выполненную с возможностью измельчения красного шлама до заданного размера частиц; и

один или более первых сепараторов для выполнения этапа физического извлечения железных компонентов из красного шлама и один или более вторых сепараторов для выполнения этапа физического извлечения алюминиевых компонентов из красного шлама.

19. Система по п.18, в которой секция нагрева содержит нагреватель, управляемый для нагрева красного шлама до 1400-2000°C.

20. Система по п.19, в которой секция нагрева дополнительно содержит шнековый конвейер для транспортировки красного шлама вдоль по меньшей мере части секции нагрева.

21. Система по п.20, в которой шнековый конвейер выполнен с возможностью транспортировки красного шлама вдоль большей части секции нагрева.

22. Система по п.18, в которой упомянутые один или более сепараторов включают один или более из магнитного сепаратора для извлечения по меньшей мере железа и оксидов железа из красного шлама и циклонного сепаратора для извлечения по меньшей мере алюминия из красного шлама с использованием гравитационной сепарации.

23. Система по п.18, в которой упомянутые один или более сепараторов выполнены с возможностью физического отделения упомянутых по меньшей мере железных компонентов и алюминиевых компонентов от красного шлама без добавления химических веществ к красному шламу.

24. Система по п.18, дополнительно содержащая корпус, в котором по меньшей мере частично заключены секция нагрева, дробилка и по меньшей мере один из упомянутых одного или более сепараторов.

25. Система по п.24, в которой корпус содержит вращающуюся трубчатую печь, включающую множество областей, заключающих в себе секцию нагрева, дробилку и упомянутый по меньшей мере один из упомянутых одного или более сепараторов.

26. Способ обработки красного шлама, включающий:

очистку красного шлама при температуре по меньшей мере 1400°C для удаления гидроксида натрия из красного шлама и преобразования кремнеземных компонентов в стекло;
 измельчение красного шлама до заданного размера частиц;
 физическое извлечение железных компонентов из красного шлама; и
 физическое извлечение алюминиевых компонентов из красного шлама, причем упомянутое физическое извлечение алюминиевых компонентов является отдельным от физического извлечения железных компонентов.

27. Способ по п.26, в котором этапы очистки и физического извлечения выполняют без добавления химических веществ к красному шламу.

28. Способ по п.26, в котором этап очистки включает воздействие на красный шлак одного или более пламеней и нагрев красного шлама до 1400-2000°C.

29. Способ по п.26, дополнительно включающий этап прокаливания красного шлама при температуре 600-1500°C для восстановления железа и оксидов железа в красном шламе, при этом этап прокаливания является отдельным от этапа очистки.

30. Способ по п.26, в котором физическое извлечение железных компонентов включает выполнение первого магнитного извлечения железных компонентов из красного шлама, а физическое извлечение алюминиевых компонентов включает выполнение гравитационной сепарации алюминиевых компонентов от красного шлама.

31. Способ по п.30, дополнительно включающий выполнение второго магнитного извлечения титановых компонентов из красного шлама при более высокой напряженности, чем первое магнитное извлечение, и при этом второе магнитное извлечение выполняют после первого магнитного извлечения.

32. Способ обработки красного шлама, включающий:

нагрев красного шлама для удаления гидроксида натрия из красного шлама и преобразования кремнеземных компонентов в стекло;

измельчение красного шлама до заданного размера частиц; и

физическое извлечение железных компонентов из красного шлама для получения отделенных железных компонентов и отделенного от железа красного шлама;

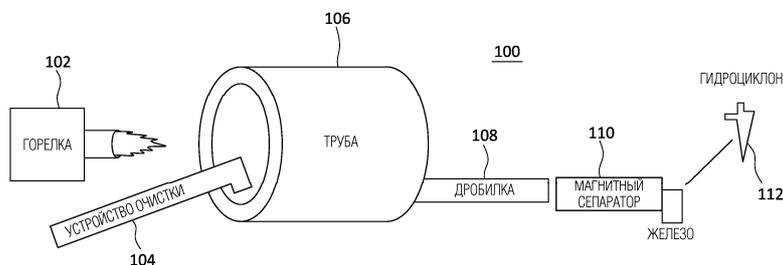
физическое извлечение титановых компонентов из отделенного от железа красного шлама,

при этом физическое извлечение железных компонентов и физическое извлечение титановых компонентов выполняют без добавления химических добавок к красному шламу.

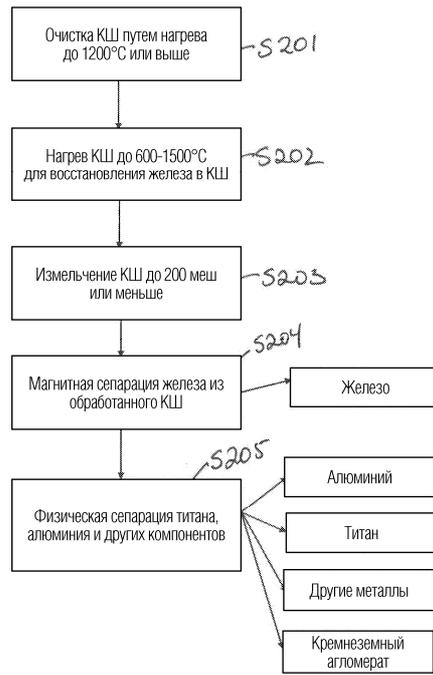
33. Способ по п.32, в котором физическое извлечение железных компонентов включает магнитное извлечение железных компонентов из красного шлама при первой напряженности магнитного поля, а физическое извлечение титановых компонентов включает магнитное извлечение титановых компонентов из отделенного от железа красного шлама при второй напряженности магнитного поля, более высокой, чем первая напряженность магнитного поля.

34. Способ по п.32, в котором физическое извлечение железных компонентов включает магнитное извлечение железных компонентов из красного шлама, а физическое извлечение титановых компонентов включает выполнение гравитационной сепарации для извлечения титановых компонентов из отделенного от железа красного шлама.

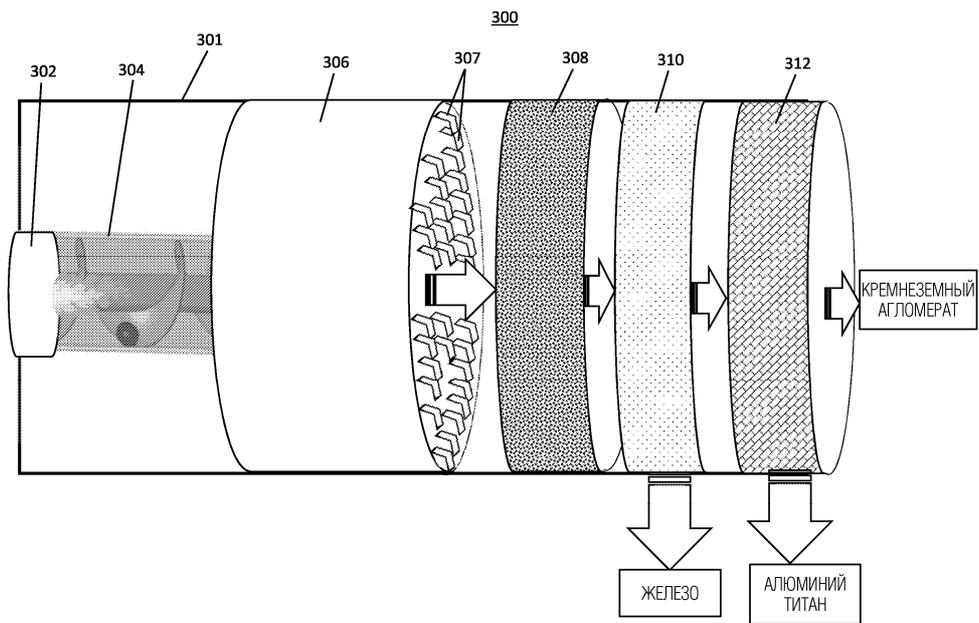
35. Способ по п.32, дополнительно включающий выполнение гравитационной сепарации отделенного от титана красного шлама, полученного на этапе физического извлечения титановых компонентов, для извлечения одного или более из алюминия, ванадия, марганца и хрома из отделенного от титана красного шлама.



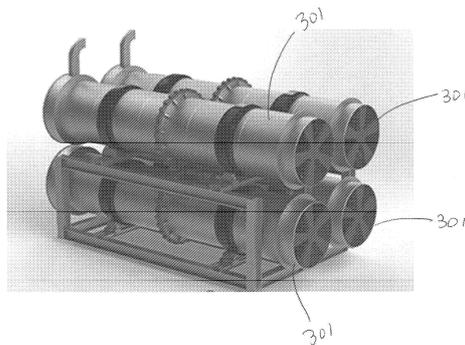
Фиг. 1



Фиг. 2

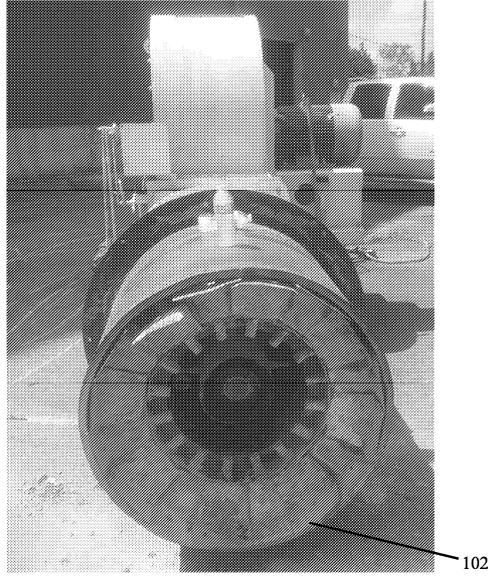


Фиг. 3А

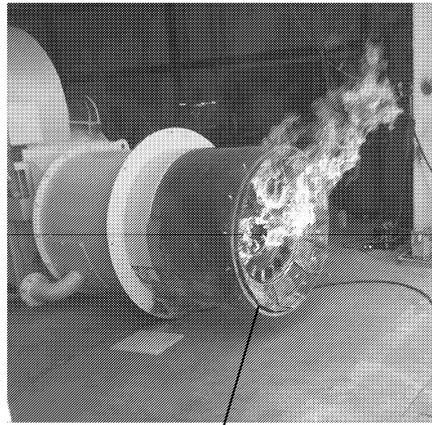


Фиг. 3В

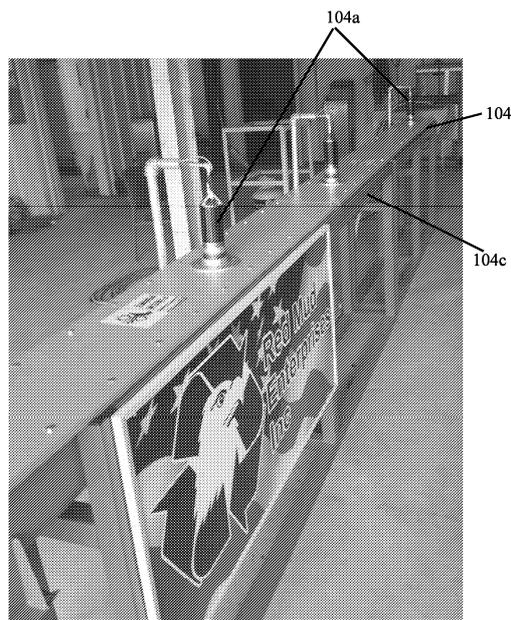
044807



Фиг. 4А

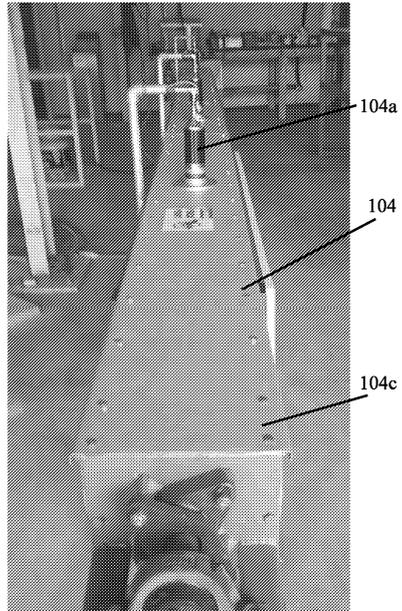


Фиг. 4В

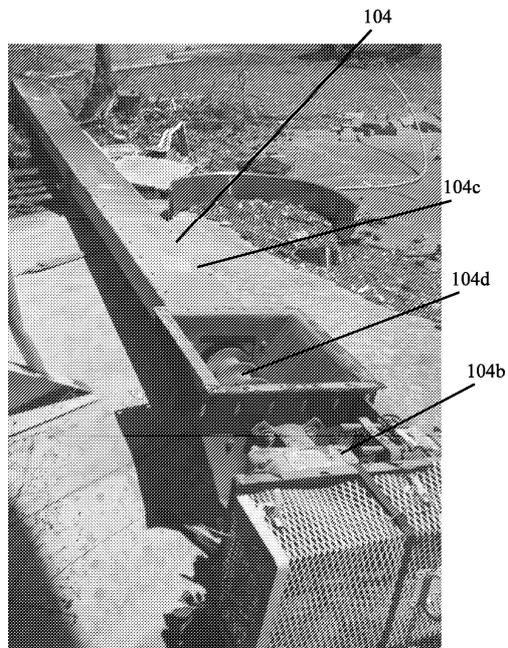


Фиг. 5А

044807

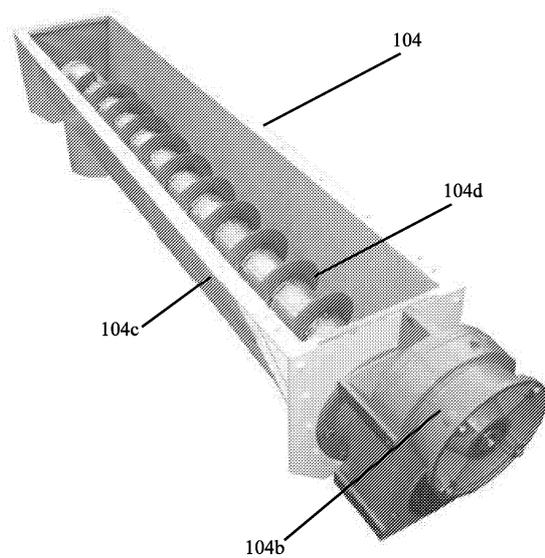


Фиг. 5В

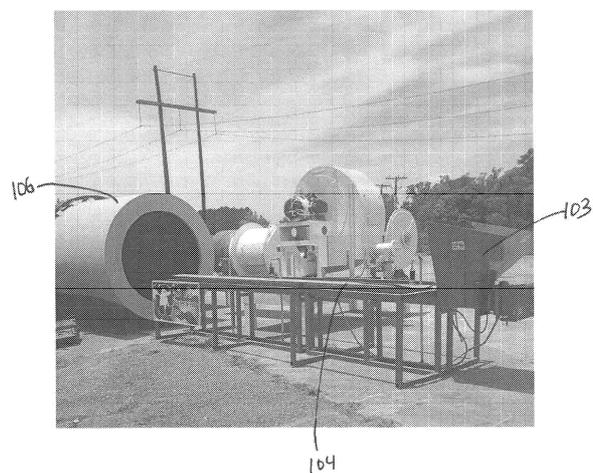


Фиг. 5С

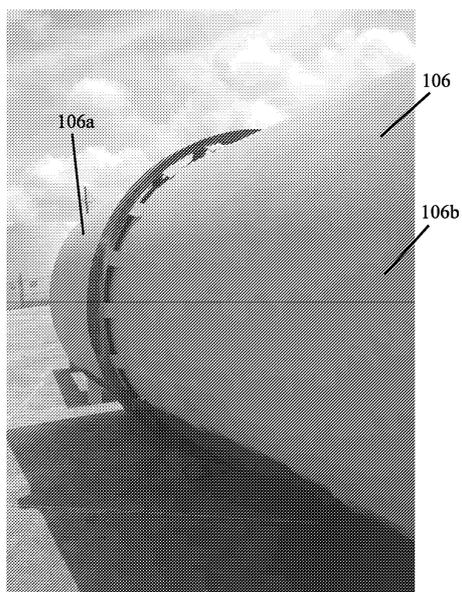
044807



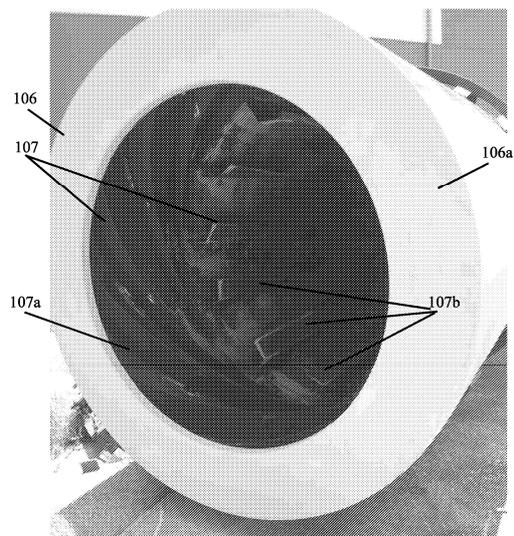
Фиг. 5D



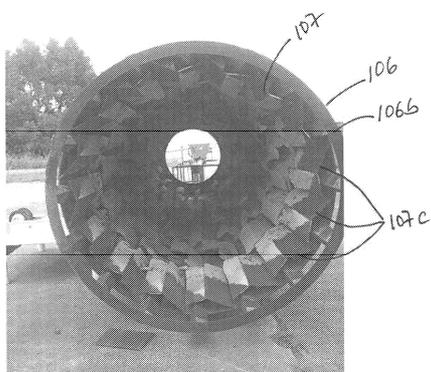
Фиг. 5E



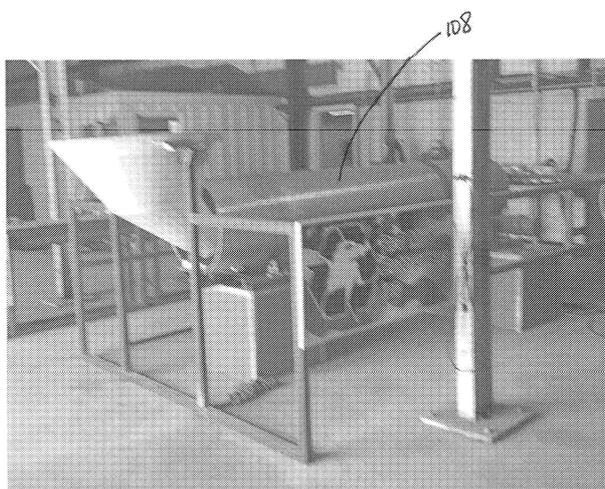
Фиг. 6A



Фиг. 6В



Фиг. 6С



Фиг. 7