

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2860410

СПОСОБ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ИЗ БОКСИТОВОГО ОСТАТКА, МИКРОВОЛНОВЫЙ РЕАКТОР ДЛЯ НАГРЕВАНИЯ ПРОДУКТОВ ДОБЫЧИ И СПОСОБ НАГРЕВАНИЯ ПРОДУКТОВ ДОБЫЧИ

Патентообладатель: *Пабтин Сосьедад Анонима (UY)*

Автор(ы): *АРАНТИС АРАУЖО, Лукас (BR)*

Заявка № 2023118781

Приоритет изобретения 18 декабря 2020 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 17 апреля 2026 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 17 декабря 2041 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат 00a570e4f7add8d531b4b8818e75f29506
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 04.09.2025 по 28.11.2026

Ю.С. Зубов





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(51) МПК

C22B 7/00 (2006.01)
C01F 7/441 (2022.01)
C01B 33/12 (2006.01)
C01G 23/053 (2006.01)
C22B 34/12 (2006.01)
C22B 1/02 (2006.01)
C22B 3/08 (2006.01)
C22B 3/22 (2006.01)
B03C 1/30 (2006.01)
F27D 1/00 (2006.01)

F27D 11/12 (2006.01)
H05B 6/64 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

C22B 7/00 (2026.01); C01F 7/441 (2026.01); C01B 33/126 (2026.01); C01G 23/053 (2026.01); C22B 34/12 (2026.01); C22B 1/02 (2026.01); C22B 3/08 (2026.01); C22B 3/22 (2026.01); B03C 1/30 (2026.01); F27D 1/0009 (2026.01); F27D 11/12 (2026.01); H05B 6/64 (2026.01)

(21)(22) Заявка: 2023118781, 17.12.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
17.12.2021

Дата регистрации:
17.04.2026

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
18.12.2020 BR BR 10 2020 026102 9

(43) Дата публикации заявки: 17.04.2026 Бюл. № 11

(45) Опубликовано: 17.04.2026 Бюл. № 11

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 18.07.2023

(86) Заявка РСТ:
BR 2021/050556 (17.12.2021)

(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2022/126217 (23.06.2022)

Адрес для переписки:
129090, Москва, ул. Большая Спасская, 25, стр.
3, ООО "Юридическая фирма Городисский и
Партнеры"

(72) Автор(ы):

АРАНТИС АРАУЖО, Лукас (BR)

(73) Патентообладатель(и):

Пабтин Сосьедад Анонима (UY)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: SHREY AGRAVAL et.al.
Investigation of carbothermic microwave
reduction followed by acid leaching for recovery
of iron and aluminum values from Indian red
mud. Minerals Engineering 159 (2020) 10665,
04.10.2020, p.1-13. BRAJENDRA MISHRA et. al.
Materials sustainability for environment: Red-
mud treatment. Front. Chem. Sci. Eng., 2017, 11
(3), p. (см. прод.)

(54) СПОСОБ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ИЗ БОКСИТОВОГО ОСТАТКА, МИКРОВОЛНОВЫЙ РЕАКТОР ДЛЯ НАГРЕВАНИЯ ПРОДУКТОВ ДОБЫЧИ И СПОСОБ НАГРЕВАНИЯ ПРОДУКТОВ ДОБЫЧИ

(57) Реферат:

Группа изобретений относится к переработке отходов горнодобывающей промышленности, в частности бокситового остатка. Способ включает смешивание бокситового остатка с восстановителем для получения смеси, ее нагрев в микроволновом реакторе для получения

восстановленного бокситового остатка, его магнитное разделение на магнитные и немагнитные материалы. Далее осуществляют выщелачивание немагнитного материала серной кислотой с получением раствора выщелачивания, который декантируют и фильтруют для

извлечения кремнезема. Из побочного продукта выщелачивания осаждают диоксид титана. Побочный продукт осаждения диоксида титана выпаривают с получением насыщенного раствора, содержащего твердое вещество, которое прокачивают с получением глинозема. При этом корпус микроволнового реактора для нагревания смеси бокситового остатка с

восстановителем выполнен из теплоизоляционного материала, прозрачного для микроволн, который представляет собой ячеистый бетон с содержанием 75-95% Al_2O_3 и плотностью 0,7-1,2 г/см³. Обеспечивается карботермическая конверсия бокситового остатка с помощью микроволн. 2 н. и 12 з.п. ф-лы, 6 ил., 9 табл.

(56) (продолжение):

483496; SUCHITA RAI et.al. Recovery of iron from bauxite residue using advanced separation techniques. Minerals Engineering 134, 10.02.2019, p. 222-231. CN 107201441 A, 26.09.2017. RU 2579843 C2, 10.04.2016. RU 2389806 C2, 20.05.2010.

RU 2860410 C2

RU 2860410 C2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.

C22B 7/00 (2006.01)
C01F 7/441 (2022.01)
C01B 33/12 (2006.01)
C01G 23/053 (2006.01)
C22B 34/12 (2006.01)
C22B 1/02 (2006.01)
C22B 3/08 (2006.01)
C22B 3/22 (2006.01)
B03C 1/30 (2006.01)
F27D 1/00 (2006.01)

F27D 11/12 (2006.01)
H05B 6/64 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

C22B 7/00 (2026.01); *C01F 7/441* (2026.01); *C01B 33/126* (2026.01); *C01G 23/053* (2026.01); *C22B 34/12* (2026.01); *C22B 1/02* (2026.01); *C22B 3/08* (2026.01); *C22B 3/22* (2026.01); *B03C 1/30* (2026.01); *F27D 1/0009* (2026.01); *F27D 11/12* (2026.01); *H05B 6/64* (2026.01)

(21)(22) Application: **2023118781, 17.12.2021**

(24) Effective date for property rights:
17.12.2021

Registration date:
17.04.2026

Priority:

(30) Convention priority:
18.12.2020 BR BR 10 2020 026102 9

(43) Application published: **17.04.2026 Bull. № 11**(45) Date of publication: **17.04.2026 Bull. № 11**(85) Commencement of national phase: **18.07.2023**

(86) PCT application:
BR 2021/050556 (17.12.2021)

(87) PCT publication:
WO 2022/126217 (23.06.2022)

Mail address:
**129090, Moskva, ul. Bolshaya Spasskaya, 25, str.
 3, OOO "Yuridicheskaya firma Gorodisskij i
 Partnery"**

(72) Inventor(s):

ARANTES ARAUJO, Lucas (BR)

(73) Proprietor(s):

PABTIN SOCIEDAD ANONIMA (UY)

(54) **METHOD FOR EXTRACTING MATERIALS FROM BAUXITE RESIDUE, MICROWAVE REACTOR FOR HEATING MINING PRODUCTS AND METHOD FOR HEATING MINING PRODUCTS**

(57) Abstract:

FIELD: mining industry.

SUBSTANCE: group of inventions relates to the processing of mining waste, in particular bauxite residue. The method involves mixing bauxite residue with a reducing agent to obtain a mixture, heating it in a microwave reactor to obtain reduced bauxite residue, and magnetically separating it into magnetic and non-magnetic materials. Next, the non-magnetic material is

leached with sulphuric acid to obtain a leaching solution, which is decanted and filtered to extract silica. Titanium dioxide is precipitated from the leaching by-product. The by-product of titanium dioxide precipitation is evaporated to obtain a saturated solution containing a solid, which is calcined to obtain alumina. The body of the microwave reactor for heating the mixture of bauxite residue with the reducing agent is

made of a heat-insulating material transparent to microwaves, which is a cellular concrete with an Al_2O_3 content of 75-95% and a density of 0.7-1.2 g/cm³.

EFFECT: carbothermic conversion of bauxite residue using microwaves.
14 cl, 6 dwg, 9 tbl

R U 2 8 6 0 4 1 0 C 2

R U 2 8 6 0 4 1 0 C 2

[001] Настоящее изобретение относится к технически и экономически возможному процессу извлечения соответствующих металлов и неметаллов из отходов горнодобывающей промышленности, в частности из бокситового остатка путем его полного использования. В таком технологическом маршруте используется микроволновая энергия, вспомогательное выщелачивание и логическая последовательность стадий, чтобы обеспечить технически и экономически целесообразное удаление компонентов из бокситового остатка, в частности, получаемого в процессе Байера. Использование электромагнитного излучения в диапазоне микроволн приводит к повышению эффективности обработки и переработки этих материалов и отходов. Настоящее изобретение также предлагает микроволновый реактор, конструкция и работа которого особенно эффективны для применения при извлечении отходов добычи полезных ископаемых и, более конкретно, бокситового остатка, получаемого в результате процесса Байера.

[002] Кроме того, настоящее изобретение относится к микроволновому реактору для нагревания продуктов добычи, который специально приспособлен для нагревания продуктов добычи для извлечения представляющих интерес материалов, и применим для осуществления процесса извлечения материалов из вышеупомянутого бокситового остатка.

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

[003] В технологической области продуктов, получаемых в процессе добычи полезных ископаемых, одним из известных способов, в основном используемых в горнодобывающей промышленности для извлечения алюминия из железной руды (бокситов), является процесс Байера.

[004] Процесс Байера, разработанный в 1888 г., наиболее широко используется во всем мире для производства глинозема. Этот процесс заключается в поддержке выщелачивания бокситов при температуре и давлении с использованием гидроксида натрия в качестве выщелачивающего агента. Стадия выщелачивания позволяет алюминию, содержащемуся в боксите в форме гиббсита, бемита и диаспора, достигать гидроксида натрия, образуя растворимое соединение алюминат натрия. Таким образом, этот раствор, содержащий алюминат натрия, можно отделить от остатка процесса Байера как сгущением, так и декантацией. Раствор направляется на стадию кристаллизации для извлечения глинозема; материал, получаемый из отстойных бассейнов, представляет собой хвосты процесса Байера, которые осаждаются в прудах-отстойниках.

[005] Этот остаток от процесса Байера (известный как бокситовый остаток или красный шлам) в основном состоит из железа в форме гематита и гетита, алюминия в форме гиббсита и содалита Байера, титана в анатазной форме и других второстепенных элементов, таких как скандий, уран, торий и цирконий. Эти хвосты процесса Байера нерастворимы на стадии выщелачивания и образуются в результате осаждения каолинита в форме содалита Байера. Этот содалит содержит алюминий, а также железо, натрий и гидроксид. Эти хвосты также содержат ряд металлов, представляющих стратегический интерес для промышленности, таких как цирконий, скандий и титан.

[006] Тем не менее, бокситовый остаток, образующийся при переработке глинозема по Байеру, сильно загрязняет окружающую среду: он химически активен и вызывает коррозию из-за высокого значения pH; содержит тяжелые металлы, особенно уран и торий; он является мелким и легким, поэтому требует постоянного контроля; орошаемым и компактным; и требует гидроизоляции почвы, чтобы избежать загрязнения. Следовательно, такой бокситовый остаток требует высоких затрат на

обслуживание, очень вреден для окружающей среды и может привести к экологическим катастрофам, таким как авария на заводе Айка в Венгрии.

[007] Ввиду вышеизложенного уровень техники предполагает обеспечить решения по обработке продуктов и остатков для дальнейшего получения представляющих
5 интерес материалов, включая переработку бокситовых остатков. Однако такие известные в настоящее время способы недостаточно эффективны для удаления остатка, поскольку они ограничены тем, что может быть экстрагировано в качестве представляющего интерес материала, как объясняется ниже.

[008] Концептуально решения по обработке продуктов добычи и извлечению
10 представляющих интерес материалов в основном включают преобразование или переработку продуктов или остатков для последующего разделения с помощью других процедур (таких как магнитная сепарация или выщелачивание), что позволяет извлекать представляющие интерес элементы из этого продукта или остатка.

[009] Преобразование продуктов или остатков традиционно использует применение
15 тепла для принудительного изменения фаз присутствующих в них элементов и обеспечения их разделения и использования. Такое тепло возникает в результате сжигания угля, также обычно используемого в качестве восстановителя в процессах преобразования. Приведенные выше комментарии раскрывают первую проблему уровня техники: преобразование посредством тепла, генерируемого источниками
20 загрязнения, такими как уголь, при сжигании которого образуется CO₂, заведомо вредный для окружающей среды.

[0010] Уровень техники предлагает решения, основанные на использовании микроволн для энергоснабжения с последующим нагревом продуктов и остатков. Таким образом, необходимость сжигания угля для выработки тепла, необходимого
25 для преобразования, теоретически может быть устранена, поскольку при преобразовании и восстановлении будет использоваться только восстановитель; в этом случае, возможно, следует работать близко к стехиометрии.

[0011] Примеры из документов предшествующего уровня техники, которые раскрывают использование микроволн для нагрева продуктов добычи, будут оценены
30 ниже.

[0012] Патентный документ US6277168 предлагает использование микроволновой камеры для преобразования и плавления руды для дальнейшего получения расплавленного металла в нижней части камеры. Тем не менее, в патенте US6277168 не описывается и не упоминается процесс извлечения производных продуктов добычи
35 или представляющих интерес остатков, что показывает, таким образом, что его применение ограничивается прямым преобразованием руды и последующим получением расплавленного металла без какой-либо возможности выбора конкретных элементов из обработанного продукта для разделения. Следовательно, система, раскрытая в US6277168, непригодна для обработки остатков, таких как бокситы, поскольку такие
40 материалы не подходят для получения металлических сплавов только посредством стадии преобразования.

[0013] Другим примером является патентный документ US8034320, который предлагает использование микроволн для преобразования гранул магнитного железа (магнетита) в гематит. Следует отметить, что в US8034320 не описывается и не
45 упоминается возможное извлечение представляющих интерес материалов посредством обработки основного продукта; на самом деле, поскольку документ US8034320 предлагает превращение магнетита в гематит, он исключает любой возможный выбор представляющих интерес производных, поскольку это создает трудности для обработки

железа с помощью магнитных сепараторов.

[0014] Другим примером является патентный документ US4311520, который раскрывает способ извлечения никеля, кобальта и марганца из их оксидов и силикатов, включая латеритный никель. Однако в документе US4311520 говорится об использовании микроволн только для восстановления основных продуктов, чтобы обеспечить последующую экстракцию материалов, вместо использования печей или химических процедур, для некоторого снижения затрат энергии и ресурсов на восстановление. Тем не менее, учитывая очень низкое содержание интересующих элементов в некоторых видах продуктов, охватываемых патентом US4311520 (например, латеритная зона месторождений никеля), использования микроволн для восстановления недостаточно для того, чтобы сделать процедуру выгодной с экономической точки зрения.

[0015] В дополнение к вышеупомянутым документам постоянно предпринимались академические усилия для определения возможных решений по обработке бокситового остатка процесса Байера. Например, можно сослаться на научную статью «Investigation of carbothermicmicrowave reduction followed by acid leaching for recovery of iron and aluminum values from Indian red mud», S. Agrawal and N. Dhawan, в которой экспериментально предлагается карботермическое восстановление бокситового остатка с использованием микроволн и последующее выщелачивание этого восстановленного остатка для извлечения железа и алюминия. Другие академические публикации раскрывают аналогичное содержание, предлагая, таким образом, пирометаллургический процесс восстановления остатков с помощью микроволн с последующей химической обработкой для извлечения железа и алюминия и, в некоторых случаях, редкоземельных элементов.

[0016] Тем не менее, как широко известно, остаток, образующийся в результате переработки бокситов (в частности, остаток процесса Байера), содержит помимо железа и оксида алюминия несколько других представляющих интерес материалов. Можно упомянуть, например, диоксид титана, еще один материал, представляющий промышленный интерес, содержащийся в остатке процесса Байера, который не освещается ни в патентных, ни в академических публикациях. Однако уровень техники не позволяет предсказать способ полного извлечения этих других представляющих интерес компонентов, так что известные до сих пор способы извлечения имеют низкую эффективность и приводят к очень высоким уровням того, что считается отходами процесса. Таким образом, уровень техники не в состоянии полностью решить одну из основных проблем, связанных с бокситовым остатком, а именно большой объем хвостов, образующихся при обработке бокситов, особенно в процессе Байера.

[0017] Кроме того, упомянутые академические публикации по своей природе являются простыми предположениями и не предлагают какой-либо конкретный процесс, включающий логические и последовательные этапы, которые позволяют эффективно извлекать множество представляющих интерес материалов из бокситового остатка. Это особенно интересно в отношении бокситовых остатков, получаемых в процессе Байера, где управление остатком для извлечения одного интересующего продукта влияет на потенциальное извлечение всех других продуктов, содержащихся в остатке. До сих пор невозможно определить в уровне техники подходящий и полный процесс для эффективного извлечения остатков бокситов, включая извлечение множества представляющих интерес материалов, кроме железа и глинозема.

[0018] Кроме того, уровень техники не позволяет предложить оборудование микроволнового реактора, специально разработанное для использования при извлечении бокситового остатка, которое было бы высокоэффективным в этом применении. Хотя

уровень техники предполагает использование микроволн для обработки остатков, такие микроволны представляют собой общее, экспериментальное или лабораторное применение, поскольку они не могут обеспечить подходящую эффективность для этого вида желаемого применения для извлечения из бокситового остатка.

ЗАДАЧИ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0019] Принимая во внимание вышеупомянутые проблемы, связанные с уровнем техники, первая задача настоящего изобретения состоит в том, чтобы предложить эффективный способ извлечения производных из бокситового остатка, в частности химического остатка, получаемого в результате производства глинозема посредством процесса Байера.

[0020] Вторая задача настоящего изобретения состоит в том, чтобы предложить способ извлечения производных из бокситового остатка, содержащий логическую последовательность конкретных стадий, которые позволяют извлекать из процесса несколько элементов помимо простого извлечения железа и оксида алюминия.

[0021] Третья задача настоящего изобретения состоит в том, чтобы предложить способ извлечения производных из бокситового остатка, который использует преимущества пирометаллургического процесса для карботермической конверсии остатка с помощью микроволн, вместе с логикой и конкретной последовательностью последующих стадий химической обработки, чтобы обеспечить особенно эффективное извлечение интересующих элементов из остатка.

[0022] Четвертая задача настоящего изобретения состоит в том, чтобы предложить микроволновый реактор для нагревания продуктов добычи, который особенно эффективен для нагревания и преобразования отходов добычи, таких как бокситовый остаток, и может применяться при выполнении предложенного в настоящем документе процесса извлечения производных от бокситового остатка.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0023] Настоящее изобретение относится к способу извлечения производных из бокситового остатка, включающему стадии смешивания бокситового остатка с восстанавливающим агентом для получения смеси остатка; нагревание смеси остатка в микроволновом реакторе для получения восстановленного бокситового остатка; магнитное разделение восстановленного бокситового остатка для получения порций магнитных и немагнитных материалов; выщелачивание части немагнитного материала для получения щелока, а затем декантацию и фильтрацию указанного щелока для извлечения кремнезема; осаждение побочного продукта щелока с получением диоксида титана; выпаривание оставшегося после осаждения щелока с получением насыщенного щелока и оставшегося твердого вещества с высоким содержанием оксида алюминия; и прокаливание указанного оставшегося твердого вещества с высоким содержанием оксида алюминия, полученного в результате выпаривания, с получением оксида алюминия.

[0024] В возможном варианте осуществления предложенного в настоящем документе способа извлечения производных из бокситового остатка восстановитель содержит частицы размером менее 75 мкм, смешение происходит в течение 10-30 мин до формирования карботермической смеси бокситового остатка и восстановителя при количестве восстановителя 5 - 50%.

[0025] В другом возможном варианте осуществления предложенного в настоящем документе способа извлечения производных из бокситового остатка способ содержит стадию гранулирования смеси остатка, полученной на стадии смешивания, перед стадией нагревания.

[0026] В другом возможном варианте осуществления предложенного в настоящем документе способа извлечения производных из бокситового остатка на стадии нагревания бокситовый остаток облучается мощностью 10 - 100 кВт.час на тонну карботермической смеси в течение 2-18 мин, при температуре, поддерживаемой на уровне выше 80% от температуры перехода в магнитные фазы, в течение по меньшей мере двукратного времени, затрачиваемого на достижение температуры перехода в магнитные фазы.

[0027] В другом возможном варианте осуществления предложенного в настоящем документе способа извлечения производных из бокситового остатка способ содержит стадии выполнения первого измельчения побочного продукта со стадии нагревания; выполнение разделения измельченного бокситового остатка по размеру для получения крупной части и мелкой части остатка; выполнение магнитной сепарации в крупной части остатка для получения крупных магнитной и немагнитной частей; выполнение второго измельчения тонкой части остатка; и проведение магнитной сепарации тонкой части измельченного остатка для получения тонких магнитной и немагнитной частей.

[0028] В другом возможном варианте осуществления предложенного в настоящем документе способа извлечения производных из бокситового остатка первое разделение по размеру содержит отправку бокситового остатка, полученного в результате первого измельчения, в первый циклонный сепаратор, который разделяет бокситовый остаток на порции материала с размером меньше и больше #100; отправку части материала с размером меньше #100, отделенной первым циклонным сепаратором, во второй циклонный сепаратор; разделение во втором циклонном сепараторе части материала с размером меньше #100 на порции с размером меньше и больше #200, причем часть с размером меньше #200 представляет собой мелкую часть; и объединение части с размером выше #100, отделенной первым циклонным сепаратором, с частью с размером выше #200, отделенной вторым циклонным сепаратором, для получения общей части.

[0029] В другом возможном варианте осуществления предложенного в настоящем документе способа извлечения производных из бокситового остатка выщелачивание происходит при соотношении твердой и жидкой фаз от 1 до 10 г немагнитной части на 10 мл раствора серной кислоты в диапазоне концентраций от 2 до 6 моль/л.

[0030] В другом возможном варианте осуществления предложенного в настоящем документе способа извлечения производных из бокситового остатка выщелачивание происходит в течение времени 30 - 120 мин при температуре 30° - 90°C со скоростью перемешивания 400 - 600 об/мин.

[0031] В другом возможном варианте осуществления предложенного в настоящем документе способа извлечения производных из бокситового остатка осаждение содержит добавление затравки TiO_2 к раствору; и доведение значения pH раствора, содержащего гидроксид натрия, до 1,5 - 2,5 с тем, чтобы осадить диоксид титана.

[0032] В другом возможном варианте осуществления предложенного в настоящем документе способа извлечения производных из бокситового остатка осаждение происходит при скорости перемешивания 50 - 200 об/мин, при температуре 10° - 90°C в течение времени 30 - 120 мин.

[0033] В другом возможном варианте осуществления предложенного в настоящем документе способа извлечения производных из бокситового остатка выпаривание содержит упаривание богатого сульфатом алюминия раствора до плотности 10-16 градусов Боме, добавление стехиометрических количеств сульфата натрия и доведение pH жидкости до 6-12 раствором 50% гидроксида натрия.

[0034] В другом возможном варианте осуществления предложенного в настоящем

документе способа извлечения производных из бокситового остатка прокаливание полученного твердого остатка происходит при температурах 400 - 800°C в течение 30 - 120 мин.

[0035] Настоящее изобретение также рассматривает микроволновый реактор для нагревания продуктов добычи, который содержит: корпус, состоящий из теплоизоляционного материала, прозрачного для микроволн; по меньшей мере токоприемную стенку, состоящую из токоприемного материала; и по меньшей мере отражающую пластину, состоящую из материала, отражающего электромагнитные волны, причем область, ограниченная корпусом и по меньшей мере токоприемной стенкой, характеризует по меньшей мере нагревательную камеру.

[0036] В одном возможном варианте осуществления предложенного в настоящем документе микроволнового реактора для нагревания продуктов добычи материал, который формирует корпус, является ячеистым бетоном с высоким содержанием глинозема.

[0037] В другом возможном варианте осуществления предложенного в настоящем документе микроволнового реактора для нагревания продуктов добычи корпус выполнен из ячеистого бетона с содержанием Al_2O_3 75 - 95 об. %.

[0038] В другом возможном варианте осуществления предложенного в настоящем документе микроволнового реактора для нагревания продуктов добычи корпус выполнен из ячеистого бетона низкой плотности.

[0039] В другом возможном варианте осуществления предложенного в настоящем документе микроволнового реактора для нагревания продуктов добычи корпус выполнен из ячеистого бетона плотностью 0,7 - 1,2 г/см³.

[0040] В другом возможном варианте осуществления предложенного в настоящем документе микроволнового реактора для нагревания продуктов добычи материал токоприемной стенки представляет собой по меньшей мере один из карбида кремния, люминита и металлического титана.

[0041] В другом возможном варианте осуществления предложенного в настоящем документе микроволнового реактора для нагревания продуктов добычи отражающая пластина содержит по меньшей мере матовую поверхность, обращенную к нагревательной камере.

[0042] Способ нагрева продуктов добычи по настоящему изобретению содержит стадию излучения микроволн в микроволновый реактор так, чтобы они пересекали корпус микроволнового реактора, состоящий из теплоизоляционного материала, прозрачного для микроволн, и так, чтобы упомянутые микроволны достигали по меньшей мере токоприемной стенки.

[0043] В одном возможном варианте осуществления предложенного в настоящем документе способа нагрева продуктов добычи упомянутый способ содержит стадию отражения микроволн от отражающей пластины.

[0044] В другом возможном варианте осуществления предложенного в настоящем документе способа нагрева продуктов добычи стадия излучения микроволн в микроволновый реактор включает в себя нагрев материала в течение 2-18 мин до достижения температуры превращения в магнитные фазы и поддержание температуры на уровне выше 80% от температуры перехода в магнитные фазы, в течение по меньшей мере двукратного времени, затрачиваемого на достижение температуры перехода в магнитные фазы.

[0045] КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

[0046] Настоящее изобретение будет описано более подробно на основе примерного

варианта осуществления, представленного на чертежах.

В этих чертежах:

[0047] Фиг. 1 представляет собой вид сверху микроволнового реактора по настоящему изобретению в одном предпочтительном варианте осуществления.

[0048] Фиг. 2 представляет собой блок-схему способа извлечения производных из бокситового остатка в одном предпочтительном варианте осуществления;

[0049] Фиг. 2А представляет собой блок-схему способа разделения мелкой и крупной фракций бокситового остатка в одном предпочтительном варианте осуществления способа извлечения;

[0050] Фиг. 3 представляет собой график, показывающий преобразование множества фаз железа, содержащегося в бокситовом остатке, с течением времени в ходе процесса извлечения из бокситового остатка по настоящему изобретению;

[0051] Фиг. 4 представляет собой график, показывающий превращение содалита в нефелин с течением времени в ходе процесса извлечения из бокситового остатка по настоящему изобретению;

[0052] Фиг. 5 представляет собой блок-схему способа извлечения производных из рудной мелочи в одном предпочтительном варианте осуществления; и

[0053] Фиг. 6 представляет собой блок-схему способа извлечения производных бокситового остатка в одном предпочтительном варианте осуществления.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

[0054] Во-первых, следует отметить, что используемый в настоящем документе термин «предпочтительный» не следует понимать как «обязательный». Термин «предпочтительный» характеризует особенно эффективный вариант осуществления настоящего изобретения среди различных возможных вариантов осуществления, так что область охвата настоящего изобретения ограничивается только его характеристиками, которые действительно необходимы для получения предлагаемых технических эффектов.

[0055] Кроме того, термин «бокситовый остаток», используемый в данном описании, следует понимать как остаток, образующийся при переработке бокситовой руды, в частности, посредством процесса Байера, состав которого включает руду в форме гематита и гетита, алюминий в форме гиббсита и содалита Байера, титан в анатазной форме, скандий, уран, торий и цирконий, а также может содержать дополнительные элементы.

[0056] Кроме того, для лучшего понимания настоящего изобретения используемый в настоящем документе термин «меш» (и соответствующий ему символ «#») предназначен для определения интервалов размера частиц. Специалисту в данной области техники должно быть понятно, что используемый в настоящем документе термин «меш» относительно единственного числа, не означает, что каждая частица продукта или обрабатываемого остатка имеет точно такой размер; вместо этого указание размера в меш представляет собой приблизительно средний размер или среднее значение интервала между частицами в этой категории.

СПОСОБ ИЗВЛЕЧЕНИЯ - БОКСИТОВЫЙ ОСТАТОК

[0057] Первый способ, рассматриваемый в настоящем изобретении, представляет собой способ извлечения остаточных бокситовых материалов, в частности, остатков процесса Байера.

[0058] Таким образом, настоящее изобретение предлагает эффективный способ извлечения представляющих интерес материалов из бокситового остатка с помощью метода нагревания с использованием микроволн, предпочтительный вариант

осуществления которого проиллюстрирован на Фиг. 2.

[0059] Способ по настоящему изобретению предпочтительно содержит ранние пирометаллургические стадии смешивания 100 бокситового остатка с восстановителем с получением смеси остатка; гранулирование 101 полученной смеси и нагревание 110 смеси остатка в микроволновом реакторе 1 для получения восстановленного бокситового остатка.

СТАДИЯ (100) СМЕШИВАНИЯ

[0060] Стадия 100 смешивания предназначена для добавления восстановителя, чтобы сделать возможным последующее преобразование/восстановление некоторых представляющих интерес материалов в продукте добычи путем нагревания, получая таким образом восстановленный бокситовый остаток, описанный в настоящем документе. Восстановителем может быть, например, кокс, но можно использовать и несколько других восстановителей, таких как мелочь минерального и растительного угля, лигнин, древесные опилки и др., учитывая универсальность восстановления с помощью микроволн. Следует отметить, что кокс используется исключительно для преобразования материалов, присутствующих в бокситовом остатке, а не для сжигания или нагревания самого остатка, учитывая, что такой нагрев осуществляется микроволнами. Следовательно, способ, предложенный в настоящем документе, производит меньше парниковых газов, будучи более эффективным, чем основанные на углероде производственные процессы восстановления железа, известные из уровня техники.

[0061] Предпочтительно, чтобы восстановитель был предварительно измельчен до размера менее 75 мкм, в случае твердого восстановителя, и смешивался в оборудовании типа ленточного блендера 10 - 30 мин, предпочтительно 15 - 25 мин, до образования карботермической смеси из бокситового остатка и восстановителя в количестве 5 - 50%, предпочтительно 10 - 20%, более предпочтительно 11%. Смесь восстановителя и бокситового остатка для образования карботермической смеси полностью направляется на новую операцию, а именно стадию 101 гранулирования.

СТАДИЯ (101) ГРАНУЛИРОВАНИЯ

[0062] Стадия гранулирования является опциональной, так как можно проводить стадию металлургического восстановления с порошком, свободно перемещающимся внутри микроволновой печи. Тем не менее, гранулирование предназначено для агломерации мелких частиц, тем самым объединяя их, что предотвращает их перенос газами и облегчает диффузию восстановительных газов внутри гранул. По этой причине высокая диффузионная способность, получаемая в результате гранулирования, сокращает время, необходимое для реакции, и обеспечивает более быстрое преобразование. Если гранулирование 101 выполняется, параметрами наклона и вращения должны быть характеристики бокситового остатка, такие как влажность, содержание гидроксида натрия и состав. Предпочтительное содержание натрия находится в диапазоне 4 - 8%, предпочтительно 5 - 6%, так что для этой стадии не требуется никакого связующего вещества, поскольку для этого достаточно состава самих гранул. Гранулы из карботермической смеси направляются на следующую операцию, а именно нагревание 110.

СТАДИЯ (110) НАГРЕВАНИЯ

[0063] На стадии 110 нагревания, выполняемой микроволнами, реакция происходит в реакторе, работающем от микроволнового генератора мощностью 100 кВт, при этом излучается мощность от 10 кВт·час до 100 кВт·час на тонну карботермической смеси, предпочтительно от 20 кВт·час до 60 кВт·час на тонну карботермической смеси.

Микроволновый реактор, используемый на описанной выше стадии 110 нагревания, может представлять собой, например, микроволновый реактор 1, предлагаемый настоящим изобретением, для получения особенно высокой эффективности нагревания. Упомянутый реактор 1 будет описан далее. В этом отношении время нагревания
5 предпочтительно может составлять 2-18 мин, при этом температура поддерживается выше 80% от температуры превращения в магнитные фазы в течение по меньшей мере вдвое большего времени, чем время, затрачиваемое на достижение температуры превращения в магнитные фазы, более предпочтительно 4 мин облучения с выдержкой тепла в течение 10 мин. Например, применяемая температура превращения в магнитные
10 фазы может составлять 300°C - 1000°C.

[0064] В этом отношении использование микроволн для нагрева продуктов добычи приводит к многочисленным преимуществам и положительному влиянию на процесс. Во-первых, микроволны способствуют передаче энергии, а не тепла; так что нагрев и превращение фаз происходят на более эффективной основе. Кроме того,
15 электромагнитные волны микроволнового спектра способствуют изменению структуры молекулы; вращение электрических и магнитных диполей приводит к тому, что минеральная структура, которую пересекает микроволновое излучение, переходит в кристаллическую форму, что дает преимущества для обработки. Следовательно, предварительная обработка руды микроволнами позволяет извлекать металлы с
20 меньшим расходом реагентов.

[0065] Обработка хвостов процесса Байера в микроволновой печи дает ряд преимуществ по сравнению с рядом других форм восстановления и нагревания, таких как, среди прочего, доменная печь и вращающаяся печь. Это происходит потому, что нагрев посредством электромагнитных волн, обеспечиваемый микроволновым
25 оборудованием, передает энергию, а не тепло, так что нагрев происходит не снаружи, а изнутри на атомарной основе. Электромагнитная волна изменяет состояние вращения атомов, заставляет их вибрировать и вращаться, увеличивая таким образом среднюю кинетическую энергию и, следовательно, температуру. Кроме того, процесс изменяет атомную структуру соединений, содержащихся в этом остатке, среди прочего, путем
30 преобразования содалита в нефелин, анатазной формы в аморфную или в рутил.

[0066] Такое взаимодействие с электромагнитной волной происходит неравномерно в материалах, содержащихся внутри остатка, и диэлектрическая проницаемость, действительная и мнимая, является свойством, определяющим интенсивность этого взаимодействия. Некоторые материалы, такие как магнетит, обладают высокой
35 диэлектрической проницаемостью и, следовательно, должны больше взаимодействовать с электромагнитной волной и рассеивать больше энергии. В дополнение к восстановлению фаз железа это неравномерное взаимодействие должно способствовать уникальному высвобождению материалов, облегчая тем самым их разделение и улучшая реакционную способность.

[0067] Например, титан в анатазной форме является очень инертным материалом. После облучения микроволнами вибрация делает его аморфным, что приводит к тому, что материал начинает реагировать с минеральными кислотами, что обеспечивает его растворение и последующее восстановление, как показано ниже.

[0068] Это является источником полезных эффектов, возникающих при использовании
45 микроволнового реактора 1 для преобразования и нагревания представляющих интерес продуктов горнодобывающей промышленности. За счет неравномерной вибрации достигается более быстрый и эффективный нагрев с предварительным разделением материалов и, что не менее важно, без необходимости сжигания загрязняющих топлив,

таких как углерод; при использовании микроволнового реактора можно использовать стехиометрические количества восстановителя. Кроме того, такие преимущества можно наблюдать, с соответствующими изменениями, для всех способов настоящего изобретения, в которых используется микроволновый реактор для восстановления/преобразования продуктов добычи.

[0069] Ради ясности того, что происходит при нагревании продукта добычи в ходе процесса по настоящему изобретению, следует отметить, что гематит и гетит, фазы, присутствующие в остатке боксита (в момент времени 0), быстро преобразуются под действием микроволновой энергии и СО, присутствующего в коксе, в результате реакции Бурдуара. Так, магнитные фазы железа, металлического железа и магнетита начинают расти в течение минут, что лучше видно на Фиг. 3. Другие материалы, содержащиеся в остатке, такие как содалит, также подвергаются преобразованию. Чтобы лучше проиллюстрировать преобразование, которому подвергается остаток, ниже в Таблице 1 показаны фазы бокситового остатка при нагревании в микроволновой печи:

Время (мин)	Гематит	Гетит	Содалит	Гиббсит	Уссингит	Нефелин	Магнетит	Железо
0	38,36	21,38	15,69	1,98	16,15	0	0	0
1	43,1	19,45	17,21	0	18,37	0	0	0
2	35,74	14,76	16,32	0	9,74	0	0,26	0
3	35,27	11,41	16,17	0	13,18	0	9,6	0,6
4	44,21	2,64	10,27	0	14,85	5,13	21,79	1,12
5	27,01	11,11	14,09	0	0,47	13,95	27,91	4,7
6	1,31	12,06	15,97	0	0,97	18,78	45,12	5,74
7	0,53	11,67	12,11	0	0	28,51	39,96	7,22
8	0,56	11,29	2,57	0	0	29,69	42,66	13,23
9	0,85	12,47	2,27	0	0	35,99	39,04	9,38
10	0	3,68	0	0	0	33,03	27,99	11,34
11	1,25	7,91	0	0	0	43,18	34,61	13,05
12	1,29	7,91	1,78	0	0	46,77	30,94	12,04
13	0,81	0	1,53	0	0	39,77	30,85	11,74
14	2,13	3,62	0	0	0	58,55	25,43	9,63
15	1,82	7,61	0	0	0	45,08	32,47	13,01
16	1,68	5,86	2,06	0	0	47,92	29,36	13,12
17	1,62	5,99	1,97	0	0	48,85	29,28	11,77
18	0	6,2	0	0	0	45,76	31,31	11,12
19	2,69	5,5	0	0	0	44,88	28,61	10,97
20	0	5,54	0	0	0	49,05	30,37	13,82
21	5,85	1,51	0	0	0	54,32	26,9	11,13
22	1,99	0	0	0	0	54,34	25,79	10,18

Таблица 1. Фазы бокситового остатка в ходе нагревания в

микроволновом реакторе.

[0070] В этом отношении еще стоит подчеркнуть, что при нагревании в микроволновой печи содалит бокситового остатка превращается в нефелин, как видно на Фиг. 4. К концу преобразования весь содалит превращается в нефелин. Это превращение делает возможным химическое выщелачивание этого соединения в дополнение к уменьшению основности остатка.

ПЕРВАЯ СТАДИЯ (120) ИЗМЕЛЧЕНИЯ

[0071] Соответствующий способ восстановления бокситового остатка все еще содержит в одном возможном варианте осуществления стадию по меньшей мере одного измельчения 120, 121 восстановленного бокситового остатка.

[0072] Более конкретно, этот способ может включать в себя по меньшей мере одну стадию 120, 121 измельчения для дезагрегации магнитных фаз восстановленного бокситового остатка, подлежащего концентрированию с помощью магнитных сепараторов. Измельчение 120, 121 может быть выполнено, например, в стержневой

или шаровой мельнице, предпочтительно в шаровой мельнице.

[0073] Предпочтительно первая стадия 120 измельчения выполняется для достижения первой дезагрегации остатка. Более подробная информация о стадиях 120, 121 измельчения, и в частности о второй стадии 121 измельчения будет представлена в

СТАДИЯ (111) РАЗДЕЛЕНИЯ ПО РАЗМЕРУ

[0074] После первой стадии 120 измельчения способ предпочтительно содержит по меньшей мере стадию 111 разделения бокситового остатка по размеру, чтобы получить

грубую часть Gr и мелкую часть Fi остатка. Упомянутое разделение 111 по размеру может быть выполнено, например, с помощью одного или нескольких циклонных сепараторов.

[0075] Более предпочтительно разделение 111 по размеру выполняется последовательно соединенными циклонными сепараторами, как показано на Фиг. 2А. Первый циклонный сепаратор SC1 получает бокситовый остаток RB с первой стадии 120 измельчения и разделяет его на порции материала размером меньше и больше #100 (-#100 и +#100 соответственно), а затем отправляет ту часть материала, которая меньше #100, во второй циклонный сепаратор SC2, который разделяет полученную часть на части размером меньше и больше #200 (-#200 и +#200 соответственно). Часть с размером больше #100, отделенная первым циклонным сепаратором SC1, добавляется к части с размером больше #200, отделенной вторым циклонным сепаратором SC2, и образует грубую часть Gr. Часть с размером меньше #200, отделенная вторым циклонным сепаратором SC2, образует мелкую часть Fi.

СТАДИЯ МАГНИТНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ (130) ГРУБОЙ ЧАСТИ (Gr)

После разделения 111 по размеру грубая часть Gr отправляется напрямую на стадию 130 магнитного разделения, на которой получают первую магнитную часть Mag. I и первая немагнитная часть N. Mag. I. Упомянутое магнитное разделение 130 грубой части Gr предпочтительно выполняется в магнитном сепараторе со скоростью 300 - 800 об/мин и магнитным полем низкой интенсивности величиной приблизительно 300 Гс. Эта первая немагнитная часть N. Mag. I затем объединяется со второй немагнитной частью N. Mag. II, как будет описано ниже.

ВТОРАЯ СТАДИЯ (121) ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

[0076] НВ свою очередь, мелкая часть F1 остатка подвергается второй стадии 121 измельчения. В этом отношении следует отметить, что грубая часть Gr уже содержит восстановленное и высвободившееся железо, которое можно легко сконцентрировать с помощью простого магнитного разделения 130, как было предложено выше. Мелкая часть остатка Fi объединяется с другими минералами, так что дополнительное измельчение выгодно для высвобождения магнитных частиц и обеспечения возможности дальнейшего подходящего магнитного разделения.

СТАДИЯ (131) МАГНИТНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗ МЕЛКОЙ ЧАСТИ (Fi)

[0077] Затем размолотая мелкая часть Fi остатка подвергается дополнительной стадии 131 магнитного разделения, которая предназначена для разделения мелкой части F1 на две других части, а именно на ультратонкую немагнитную часть N. Mag II (предпочтительно выше #500) и ультратонкую магнитную часть Mag. II. Эта стадия может выполняться с помощью магнитного сепаратора, предпочтительно имеющего скорость 900 - 1100 об/мин и интенсивность магнитного поля приблизительно 800 Гс.

[0078] При магнитном разделении получают магнитные части Mag. I и Mag. II, так что металлическое железо и магнетит (оба являющиеся представляющими интерес материалами, содержащимися в бокситовом остатке) могут быть эффективно извлечены

для дальнейшего использования. В качестве примера в приведенной ниже Таблице 2 показано соотношение между размерами (фракциями) дезагрегированного бокситового остатка и его содержанием (%) при использовании процесса извлечения бокситового остатка по настоящему изобретению:

фракции	мас. %	Содержание (%)	Содержание железа	Распределение (%)
+ 100#	8,3	85,71	7,11	25,79
-100# и + 200#	8,5	78,32	6,65	24,14
-200# и +400#	31,4	23,5	7,38	26,75
-400# и + 600#	16,5	13,1	2,16	7,84
-600 фунтов	35,3	12,1	4,27	15,49
Всего			27,58	100,00

Таблица 2. Соотношения между фракциями и содержанием (%)

[0079] Таблица 2 раскрывает информацию о железе, содержащемся в каждой фракции бокситового остатка после обработки в микроволновом реакторе. В первом столбце показан гранулометрический диапазон железа по шкале Тайлера; второй столбец относится к массовому проценту, оставшемуся на каждом сите; третий столбец показывает содержание железа, измеренное в каждой фракции; четвертый столбец относится к содержанию железа в этой фракции, рассчитанному путем перемножения массового процента из столбца 2 на содержание из столбца 3. Пятый столбец относится к распределению железа в каждой фракции, рассчитанному путем деления количества железа, содержащегося во фракции, на общее количество железа.

[0080] Таким образом, пирометаллургическая обработка и способы магнитного разделения, предложенные в настоящем документе, позволяют получать магнитные части Mag. I и Mag. II, содержащие металлическое железо и магнетит, которые представляют собой первый продукт с добавленной стоимостью, извлекаемый в соответствии со способом по настоящему изобретению.

[0081] В свою очередь ультратонкая немагнитная часть N. Mag. II объединяется с немагнитной частью N. Mag. I, полученной из грубой части Gr, для получения объединенной немагнитной части N. Mag I+II, которая направляется на стадии химической обработки для извлечения других представляющих интерес материалов, как показано ниже.

[0082] Что касается химической обработки, процесс извлечения производных бокситового остатка в соответствии с настоящим изобретением содержит следующие стадии, которые должны выполняться в указанной последовательности, чтобы обеспечить правильное извлечение представляющих интерес материалов:

[0083] (i) выщелачивание 140 части немагнитного материала для получения щелока с последующей его декантацией и фильтрованием для экстракции кремнезема SiO₂;

[0084] (ii) осаждение 150 побочного продукта выщелачивания 140 для получения диоксида титана TiO₂;

[0085] (iii) выпаривание 160 щелока, побочного продукта осаждения 150, с получением насыщенного щелока и удерживаемого твердого вещества с высоким содержанием оксида алюминия; и

[0086] (iv) прокаливание 170 богатого оксидом алюминия оставшегося твердого вещества, полученного в результате выпаривания 160, с получением оксида алюминия.

[0087] Вышеупомянутые стадии обработки выполняются для извлечения конкретных материалов немагнитной части N. Mag I+II остатка из серной кислоты. Далее будет подробно описана каждая из вышеперечисленных стадий.

СТАДИЯ (140) ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

[0088] Выщелачивание 140 осуществляется путем добавления в бак для

выщелачивания немагнитной части N. Mag I+II и серной кислоты.

[0089] Выщелачивание происходит при соотношении твердой и жидкой фаз 1 - 10 г немагнитной части на 10 мл раствора серной кислоты при условии, что концентрация может варьироваться от 2 моль/л до 6 моль/л, и предпочтительно составляет 4 моль/л. 5
Время выщелачивания может варьироваться от 30 до 120 мин, предпочтительно от 50 до 75 мин. Температура может варьироваться от 30° до 90°С, предпочтительно от 50° до 70°С, при скорости перемешивания от 400 до 600 об/мин, предпочтительно от 500 до 550 об/мин, чтобы избежать образования застойных зон.

[0090] В этих условиях немагнитный кремнезем, который инертен к серной кислоте, 10
остается в твердом состоянии; этот элемент можно декантировать и фильтровать, что позволяет извлечь аморфный кремнезем SiO_2 из бокситового остатка. Водная фаза образующегося при этом щелока является богатой сульфатом алюминия, сульфатом титанила и сульфатом натрия.

СТАДИЯ (150) ОСАЖДЕНИЯ

[0091] После выщелачивания 140 щелок, богатый сульфатом алюминия и сульфатом титанила и не содержащий диоксида кремния, гидролизуется и осаждается 150 в отстойнике. Для этого добавляется затравка TiO_2 , и значение рН раствора доводится 15
гидроксидом натрия до 1,5 - 2,5, предпочтительно 1,8 - 2,2, и перемешивается со скоростью 50 - 200 об/мин, предпочтительно 100 - 150 об/мин при температуре 10 - 20
90°С, предпочтительно 30 - 40°С в течение 30 - 120 мин, предпочтительно 60 - 80 мин. Это вызывает осаждение диоксида титана TiO_2 , который затем извлекается из раствора, например с помощью фильтр-пресса и сушилки.

СТАДИЯ (160) ВЫПАРИВАНИЯ

[0092] Выпаривание 160 выполняется путем добавления побочного продукта 25
перемешивания 150 в испаритель. Упомянутое выпаривание заключается в выпаривании раствора богатого сульфатом алюминия щелока до плотности 10 - 16 градусов Боме, предпочтительно 11 - 13 градусов Боме, с получением оставшегося твердого вещества, богатого оксидом алюминия. Для этого добавляется стехиометрическое количество 30
сульфата натрия для увеличения значения рН до 6 - 12, предпочтительно до 7 - 8, с помощью 50%-го раствора гидроксида натрия. Осадок глинозема необходимо декантировать и отфильтровать. Насыщенный раствор возвращается в осадитель.

СТАДИЯ (170) ПРОКАПИВАНИЯ

[0093] Прокаливание 170 выполняется путем добавления побочного продукта 35
выпаривания 160, извлеченного из фильтр-пресса, в кальцинатор. Оставшееся твердое вещество, полученное при выпаривании 160, прокаливается при температуре от 400 до 800°С, предпочтительно от 550 до 650°С, в течение 30 - 120 мин, предпочтительно 40 - 70 мин для получения глинозема Al_2O_3 .

[0094] Кальцинатор может также использоваться для получения диоксида серы SO_2 40
и триоксида серы SO_3 , которые могут быть извлечены с отходящими газами кальцинатора. Упомянутые газы при желании могут быть использованы для регенерации кислоты.

[0095] Таким образом, предлагаемый в настоящем документе способ извлечения 45
бокситового остатка позволяет получать различные интересные материалы путем нагревания с помощью микроволновой печи и последующих стадий химической обработки на эффективной и быстрой основе. Способ представляет собой последовательность определенных стадий, логика которых обеспечивает возможность извлечения элементов, отличных от железа и алюминия.

[0096] В дополнение к выгодной скорости, обеспечиваемой преобразованием с помощью микроволн, предлагаемый в настоящем документе способ извлечения бокситового остатка позволяет извлекать различные материалы, присутствующие в остатке, для подходящей обработки. Способ относится не только к железу и алюминию, но также обеспечивает их извлечение в выгодной пропорции. В приведенной ниже Таблице 3 показан процент общего извлечения, ожидаемый для каждого материала при использовании процесса извлечения бокситового остатка по настоящему изобретению:

Соединение	Глобальное извлечение (%)	Масса, кг/т Р. В.
Металлическое железо	68,64	115,60
Глинозем	57,09	84,76
Кремнезем	89,95	105,27
Титан	58,16	21,28
Твердый остаток	–	183,20

Таблица 3. Процент глобального извлечения

МИКРОВОЛНОВЫЙ РЕАКТОР И СПОСОБ НАГРЕВАНИЯ

[0097] С учетом вышеизложенного на Фиг. 1 показан один предпочтительный вариант осуществления микроволнового реактора 1 по настоящему изобретению. Как указывалось ранее, в описанном процессе извлечения бокситового остатка можно использовать предложенный реактор 1 для достижения особенно предпочтительной эффективности процесса.

[0098] Упомянутый реактор 1 содержит корпус 10, выполненный из теплоизоляционного материала, прозрачного для микроволн. Корпус 10 может иметь любую подходящую геометрию для удержания внутри него рудного продукта, подлежащего нагреву, включая кубическую, параллелепипедную или цилиндрическую геометрию. Корпус 10 может быть образован набором стенок или единственной стенкой (например, в случае цилиндрической геометрии).

[0099] В одном возможном варианте осуществления корпус 10 может состоять из ячеистого бетона с высоким содержанием глинозема, предпочтительно от 75 до 95 об.% Al_2O_3 , более предпочтительно от 85 до 92 об.%, и еще более предпочтительно 92 об.%.

[00100] Упомянутый корпус 10 предпочтительно состоит из ячеистого бетона низкой плотности, предпочтительно $0,05 - 2 \text{ г/см}^3$, более предпочтительно $0,7 - 1,2 \text{ г/см}^3$ и еще более предпочтительно $0,9 \text{ г/см}^3$. Он должен быть изготовлен в процессе, образующем пузырьки в его структуре, чтобы он оставался аэрированным и сохранял прозрачность для микроволнового излучения даже при нагревании.

[00101] Реактор 1 содержит по меньшей мере токоприемную стенку 20, 21, 22, состоящую из токоприемного материала. В одном возможном варианте осуществления реактор 1 содержит несколько токоприемных стенок 20, 21, 22, которые покрывают по меньшей мере внутреннюю часть корпуса 10. Материал токоприемника, объединяющий токоприемную стенку, должен быть материалом, обеспечивающим надлежащее поглощение электромагнитных волн и преобразование их энергии в тепло. Материал токоприемной стенки 20, 21, 22 должен иметь высокую диэлектрическую проницаемость и высокий магнитный момент, а также химическую, термическую и механическую стойкость. В одном возможном варианте осуществления токоприемная стенка 20, 21, 22 состоит по меньшей мере из одного из: карбида кремния, ильменита

и металлического титана. Выбранный материал предпочтительно должен обеспечивать максимальный нагрев продуктов добычи в течение как можно более короткого времени, которое предпочтительно может варьироваться от 2 до 18 мин, при этом температура должна поддерживаться выше 80% от температуры превращения в магнитные фазы в течение по меньшей мере вдвое большего времени, чем время, затрачиваемое на достижение температуры превращения в магнитные фазы, более предпочтительно 4 мин облучения с выдержкой тепла в течение 10 мин, с учетом конструкции и мощности реактора 1. Эти предпочтительные интервалы применимы к любым способам, использующим микроволновый реактор для преобразования любых продуктов добычи, и особенно применимы к описанным ниже способам (извлечения материалов из бокситового остатка, рудной мелочи и латеритного никеля).

[00102] Предпочтительно ширина этой токоприемной стенки 20, 21, 22 должна варьироваться от 1 до 10 мм, более предпочтительно от 3 до 7 мм, и еще более предпочтительно должна составлять 5 мм. В этом возможном варианте осуществления приблизительно 40-50% электромагнитных волн поглощается стенкой, а оставшаяся часть - смесью остатка процесса Байера и восстановителя, что позволяет процессу максимально использовать передаваемую энергию.

[00103] Предпочтительно область, ограниченная корпусом 10 и по меньшей мере одной токоприемной стенкой 20, характеризует по меньшей мере одну нагревательную камеру А, В. Вариант осуществления нагревательной камеры А, В может быть реализован в нескольких формах. Например, в случае цилиндрического варианта осуществления rf корпуса 10 и кольцевого варианта осуществления токоприемной стенки 20 во внутренней области должна быть выполнена нагревательная камера, ограниченная как корпусом 10, так и токоприемной стенкой 20. Пример реактора 1 на Фиг. 1 иллюстрирует один вариант осуществления двух нагревательных камер А, В путем совместного ограничения корпуса 10 и токоприемных стенок 20, 21 и 21, 22 для формирования прямоугольных камер А, В. Нагревательная камера А, В предназначена для приема и удержания нагреваемого продукта в реакторе 1. Размер и количество камер варьируются в зависимости от теплопроводности нагреваемого продукта и желаемого нагревающего потока.

[00104] В одном возможном варианте осуществления реактор 1 содержит по меньшей мере отражающую пластину 30, состоящую из материала, отражающего электромагнитные волны, такого как нержавеющая сталь или любой другой блестящий отражающий металл, такой как алюминий. Предпочтительно отражающая пластина 30 содержит по меньшей мере матовую поверхность 31, обращенную к нагревательной камере А, В, чтобы обеспечить эффективное отражение электромагнитных волн в камерах А, В и от токоприемных стенок 20, 21, 22. Более предпочтительно реактор 1 содержит пару отражающих пластин 30, расположенных на противоположных продольных концах корпуса 10. Предпочтительно, чтобы отражающая пластина 30 имела ширину от 0,5 мм до 5 мм, более предпочтительно от 1 до 3 мм и еще более предпочтительно 2 мм.

[00105] Следует отметить, что микроволновый реактор 1 по настоящему изобретению особенно эффективен для применения в нагревании материалов для дальнейшего извлечения из них интересующих элементов. Предлагаемый реактор 1 позволяет осуществлять быстрый нагрев продуктов добычи с целью их преобразования/восстановления и последующего извлечения их элементов. В частности, микроволновый реактор по настоящему изобретению использует корпус 10 из материала, прозрачного для электромагнитных волн, что позволяет быстро и равномерно нагревать продукты

без необходимости специальных отверстий для входа волн. Расположение токоприемных стенок 20, 21, 22 и корпуса 10 с образованием камер А, В позволяет осуществлять эффективный нагрев продуктов. Опциональное применение отражающих пластин 30 повышает эту эффективность благодаря отражению электромагнитных волн в направлении камер А, В и токоприемных стенок 20, 21, 22.

[00106] В соответствии с приведенным выше описанием микроволнового реактора настоящее изобретение предлагает способ нагрева продуктов микроволнами, содержащий стадию испускания микроволн через микроволновый реактор 1, так что эти волны пересекают корпус 10 микроволнового реактора 1, состоящий из теплоизоляционного материала и прозрачный для микроволн, так что указанные микроволны достигают по меньшей мере токоприемной стенки 20. В одном возможном варианте осуществления способ может содержать стадию отражения микроволн от отражающих пластин 30.

[00107] Таким образом, настоящее изобретение содержит способы извлечения материалов, полученных из отходов добычи полезных ископаемых.

СПОСОБ ИЗВЛЕЧЕНИЯ - ЖЕЛЕЗОРУДНАЯ МЕЛОЧЬ

[00108] Это настоящее изобретение также рассматривает способ извлечения материалов из рудной мелочи. Рудная мелочь представляет собой железные руды с низким содержанием и низкой совокупной ценностью, и образует мелкую фракцию, получаемую в результате процессов добычи. Мелкая фракция обычно утилизируется или требует чрезмерной переработки; в большинстве случаев маловероятно ее использование в традиционной конверсии железа (в доменной печи) без обработки и агломерации путем гранулирования или синтеза из-за ее небольшого размера и плохого состава.

[00109] Таким образом, настоящее изобретение предлагает способ извлечения из железорудной мелочи, который не требует предварительной обработки или агломерации, и вместо этого способен извлекать представляющие интерес материалы из этого продукта добычи. Предпочтительный вариант осуществления этого способа показан на Фиг. 5.

[00110] Способ извлечения из железорудной мелочи содержит стадию:

[00111] - нагревания 210 железорудной мелочи в микроволновом реакторе для получения восстановленной железорудной мелочи.

[00112] Эта стадия нагревания позволяет преобразовать материал внутри рудной мелочи без необходимости предварительного гранулирования или агломерации.

Преобразование происходит аналогично приведенному выше описанию, относящемуся к процессу извлечения бокситового остатка, принимая во внимание в данном случае материалы, содержащиеся в железорудной мелочи.

[00113] В одном возможном варианте осуществления этот способ может содержать следующие стадии:

[00114] - смешивание 200 железорудной мелочи с мелочью восстановителя с получением смеси мелочи; и

[00115] - нагревание 210 смеси мелочи в микроволновом реакторе 1 для получения восстановленной железорудной мелочи.

[00116] Вышеуказанные стадии предназначены для обеспечения преобразования материалов, содержащихся внутри мелочи, во время нагревания. В этом случае восстановитель также вводится в виде мелочи. Например, восстановителем может быть угольная мелочь. Следует еще раз отметить, что в случае использования угольной мелочи она используется только в качестве восстановителя, а не в качестве топлива

для нагревания, учитывая что нагревание выполняется непосредственно микроволнами.

[00117] В одном возможном варианте осуществления этот способ может содержать следующие стадии:

[00118] - выполнение по меньшей мере одной стадии 220 измельчения и одной стадии 240 магнитного разделения для получения частей магнитного материала Mag I и немагнитного материала N. Mag I.

[00119] Измельчение 220 может быть выполнено после нагревания 210 с помощью шаровой мельницы, а магнитное разделение может быть выполнено с помощью любого подходящего магнитного сепаратора.

[00120] Предпочтительно способ может содержать между стадией 220 измельчения и стадией 240 магнитного разделения по меньшей мере стадию 230 разделения по размеру. Стадия 230 разделения по размеру может быть выполняться в циклонном сепараторе. Более предпочтительно способ содержит стадию возвращения 231 мелкой фракции Fin железорудной мелочи, полученной на стадии 230 разделения по размеру, на стадию 200 смешивания. При этом следует отметить, что мелкая фракция рециркулирует для обеспечения полного использования оставшегося после первого прохода восстановителя, а также полного использования гематита и магнетита, не преобразованных в металлическое железо. При использовании рециркуляции в замкнутой системе полное преобразование мелочи приближается к 100%. Грубая фракция, относящаяся к железу, преобразованному в металл, отделяется циклонным сепаратором, выходя из нижней его части, в то время как непреобразованные железные фракции вместе с непрореагировавшим восстановителем выходят из верхней части и возвращаются на стадию восстановления.

[00121] Часть магнитного материала Mag. I, извлеченная из железорудной мелочи, содержит передельный чугун, а часть немагнитного материала N. Mag I содержит такие элементы, как кремнезем, алюминий и уголь, которые можно использовать в соответствующих процессах.

[00122] Таким образом, предлагаемый в настоящем документе способ извлечения производных железорудной мелочи позволяет эффективно преобразовывать мелочь, а также извлекать интересные материалы без необходимости синтеза или гранулирования мелочи.

[00123] Чтобы проиллюстрировать приведенное выше утверждение, в нижеприведенной Таблице 4 представлены составы (основные соединения) различных фракций железорудной мелочи, полученной с помощью процесса извлечения по настоящему изобретению, в условиях 50% гематита и 50% каменного угля:

Фракция железорудной мелочи	Металлическое железо (%)	Al (%)	Si (%)
+100 фунтов	94,48	1,17	3,15
-100# и +200#	94,80	1,09	3,35
-200# и +270#	94,93	1,08	3,17
-270# и +600#	46,79	1,25	3,29
-600 фунтов	14,24	0,57	1,47

Таблица 4. Состав различных фракций железорудной мелочи,

полученной с помощью способа по настоящему изобретению.

[00124] Как видно из Таблицы 4, которая раскрывает результат восстановления микроволнами, измельчения и просеивания, первая стадия восстановления микроволнами дает металлическое

железо коммерческой чистоты во фракциях выше #270. Фракция ниже #270 должна возвращаться из верхней части в циклонный сепаратор для увеличения ее содержания и размера, в то время как оставшийся материал, содержащийся во фракциях ниже #270, относится к восстановителю, не преобразованному на этой первой стадии, который также должен быть возвращен для повышения эффективности процесса.

СПОСОБ ИЗВЛЕЧЕНИЯ - ЛАТЕРИТНЫЙ НИКЕЛЬ

[00125] Это настоящее изобретение также рассматривает способ извлечения материалов, полученных из латеритного никеля, то есть плакирующей фракции никелевого месторождения. Эта фракция в настоящее время не используется никелевыми и железоникелевыми заводами, так как ее состав не подходит для процессов плавки в обычных печах и выщелачивания под давлением и температурой. В настоящее время горнодобывающие компании хранят эту фракцию в ожидании технологии переработки для железоникелевого обогащения и последующего использования. Эти месторождения разбросаны по всему миру, особенно между тропиками, и самые большие месторождения в Бразилии и в мире содержат большое количество латеритного никеля. Таким образом, совершенно необходимо разработать процесс, позволяющий извлекать интересные материалы из этого продукта горнодобывающей промышленности.

[00126] Настоящее изобретение предлагает способ извлечения производных латеритного никеля, в котором используются определенные стадии для получения железоникелевого концентрата и последующие стадии, позволяющие обрабатывать этот концентрат для извлечения представляющих интерес материалов.

[00127] Этот способ содержит следующие стадии:

[00128] - очистка 300 латеритного никеля для получения дезагломерированного латеритного никеля;

[00129] - выполнение разделения 310 по размеру дезагломерированного латеритного никеля по меньшей мере на мелкую фракцию FF и грубую фракцию FG; и

[00130] - магнитное разделение 320 грубой фракции FG для получения магнитной фракции FM.

[00131] Стадия очистки 300 направлена на физическое улучшение латеритного никеля, чтобы отделить железо-никелевые агломераты от этого продукта добычи. Последующая стадия разделения по размеру позволяет получить мелкую фракцию FF и грубую фракцию FG латеритного никеля. Стадия 300 очистки может выполняться, например, внутри барабана интенсивной очистки, тогда как стадия 310 разделения по размеру может выполняться циклонным сепаратором.

[00132] Было обнаружено, что стадия 300 очистки, предложенная в этом способе, позволяет увеличить содержание никеля в мелкой фракции латеритного никеля. В качестве примеров нижеприведенные Таблицы 5-8 показывают сравнение увеличения времени очистки и содержания никеля в полученной мелкой фракции:

Таблица 5. Очистка никеля, 0,5% Ni, 5 мин

Фракция	мас. %	Ni (%)	Содержание Ni	Распределение никеля (%)
+635#	58,22	1,1	0,2	39,25
-635#	41,78	0,72	0,3	60,75
Очистка 0,5%Ni, 20 мин				
Фракция	мас. %	Ni (%)	Содержание Ni	Распределение никеля (%)
+635#	54,17	0,29	0,16	32,55
-635#	45,83	0,72	0,33	67,45

Таблица 6. Очистка никеля, 1,2% Ni, 5 мин				
Фракция	мас. %	Ni (%)	Содержание Ni	Распределение никеля (%)
+635#	42,52	2,74	0,35	28,77
-635#	57,48	1,53	0,88	71,23
Очистка 1,2%Ni, 20 мин				
Фракция	мас. %	Ni (%)	Содержание Ni	Распределение никеля (%)
+635#	37,85	0,78	0,29	23,62
-635#	62,15	1,53	0,95	76,38

Таблица 7. Очистка никеля, 0,9% Ni, 5 мин				
Фракция	мас. %	Ni (%)	Содержание Ni	Распределение никеля (%)
+635#	40,02	1,96	0,23	26,83
-635#	59,98	1,1	0,66	73,17
Очистка 0,9% Ni, 20 мин				
Фракция	мас. %	Ni (%)	Содержание Ni	Распределение никеля (%)
+635#	28,53	0,53	0,15	16,78
-635#	71,47	1,05	0,75	83,22

Таблица 8. Очистка никеля, 1,4% Ni, 5 мин				
Фракция	мас. %	Ni (%)	Содержание Ni	Распределение никеля (%)
+635#	37,1	3,26	0,38	24,62
-635#	62,9	1,86	1,17	75,37
Очистка 1,4%Ni, 20 мин				
Фракция	мас. %	Ni (%)	Содержание Ni	Распределение никеля (%)
+635#	31,52	1,01	0,32	19,49
-635#	68,48	1,92	1,31	80,51

Таблицы 5 – 8. Сравнительные исследования зависимости между увеличением времени очистки (5 мин, 20 мин) и содержанием никеля в полученной мелкой фракции.

[00133] Четыре образца, которые подвергались очистке в скруббере, имеющие латеритный профиль и содержание никеля 0,5%, 0,9%, 1,2% и 1,4%, обозначенные в Таблице 5 как 0,5% Ni, 0,9% Ni, 1,2% Ni и 1,4%Ni соответственно, показали увеличение содержания во время интенсивного истирания в скруббере. Очистка приводит к извлечению частиц из никелевых агломератов и позволяет высвободить другие частицы, инкапсулированные мелким никелем, и концентрировать их в мелкой фракции. Как показало распределение никеля, во всех протестированных фракциях наблюдалось увеличение содержания мелкой фракции во время обработки в скруббере.

[00134] Кроме того, в приведенной ниже Таблице 9 показан состав латеритного никеля после 20-минутной очистки мелкой фракции, где можно наблюдать значительную концентрацию железа и никеля:

Фракция	Оливин (%)	Гетит (%)	Кохромит (%)	Лизардит (%)	Магнетит (%)	Пироксен (%)
0,5% Ni, в исходном виде	21,96	40,92	1,17	14,77	4,64	16,54
0,5% Ni, мелочь из скруббера	12,44	68,39	0,76	15,60	1,61	1,20
0,9% Ni, в исходном виде	9,83	63,55	0,67	12,36	2,87	10,72
0,9% Ni, мелочь из скруббера	5,08	80,28	0,94	10,36	2,51	0,80
1,2% Ni, в исходном виде	10,99	56,67	0,96	20,84	3,55	6,99
1,2% Ni, мелочь из скруббера	5,43	74,06	1,04	17,89	0,99	0,58
1,4% Ni, в исходном виде	10,19	55,81	1,43	19,78	6,54	5,99
1,4% Ni, мелочь из скруббера	5,59	71,16	1,01	19,93	1,31	1,00

Таблица 9. Состав латеритного никеля после 20-минутной

очистки

[00135] Грубая фракция FG, полученная на стадии 310 разделения по размеру, затем подвергается магнитному разделению 320 для получения магнитной фракции FM. Немагнитная фракция считается хвостом.

[00136] В одном возможном варианте осуществления этот способ содержит стадию объединения магнитной фракции FM с мелкой фракцией FF для получения железоникелевого концентрата CN. Мелкая фракция FF не подвергается магнитному разделению, так как имеет достаточное содержание железа и никеля.

[00137] С этого момента способ по настоящему изобретению может следовать двум различным возможным путям, а именно: (i) выщелачивание концентрата CN для получения первого ряда представляющих интерес материалов или (ii) обработка концентрата CN для получения железоникеля.

[00138] В обоих вариантах (i) и (ii), приведенных выше, способ может по-прежнему включать нагревание 330 железоникелевого концентрата CN в микроволновом реакторе 1 для получения восстановленного концентрата. Микроволновый реактор 1 может быть тем, который описан в настоящем документе, или любым другим, подходящим для нагрева продуктов добычи. Если выбирается возможность (i) выщелачивания концентрата CN, следует подчеркнуть, что нагревание 330 микроволнами может способствовать или не способствовать выщелачиванию.

[00139] Если выбирается выщелачивание (i), в одном возможном варианте осуществления этот способ содержит стадию:

[00140] - выщелачивание 340 железоникелевого концентрата CN с получением по меньшей мере производного материала CSN.

[00141] Производный материал, получаемый посредством способа выщелачивания, представляет собой, например, концентрат сульфата никеля и аккумуляторного кобальта CSN. За выщелачиванием 340 может следовать, например, обработка в фильтр-прессе для получения представляющих интерес производных.

[00142] В случае варианта обработки (ii) для получения железа-никеля в одном возможном варианте осуществления способ содержит стадии:

[00143] - измельчение 350 и магнитное разделение 360 железоникелевого концентрата CN с получением по меньшей мере производного FeN.

[00144] Производным, получаемым на этих дополнительных стадиях, является железо-никель FeN. Измельчение 350 может быть выполнено с помощью шаровой мельницы, а магнитное разделение 360 - с помощью любого подходящего магнитного сепаратора.

[00145] Следовательно, способ извлечения производных латеритного никеля позволяет получать представляющие интерес материалы из этого продукта добычи посредством последовательности стадий, которые позволяют получить железоникелевый концентрат для последующего извлечения производных посредством дальнейшей

обработки в соответствии с желаемым интересующим материалом.

[00146] Следует подчеркнуть, что предложенный в настоящем документе способ извлечения производных латеритного никеля может использоваться во всей латеритной зоне, начиная с красного лимонита, через желтый лимонит, и заканчивая ранним сапролитом. В некоторых случаях стадию интенсивной очистки можно заменить или дополнить измельчением (например, при работе с сапролитом).

[00147] Выше был приведен один пример предпочтительного варианта осуществления, однако следует понимать, что область охвата настоящего изобретения включает в себя другие возможные вариации, ограничиваясь лишь содержанием прилагаемой формулы изобретения, включая любые возможные эквиваленты.

(57) Формула изобретения

1. Способ извлечения материалов, получаемых из бокситового остатка, отличающийся тем, что он содержит следующие стадии:

- смешивание (100) бокситового остатка с восстановителем для получения смеси остатка;

- нагревание (110) смеси остатка в микроволновом реакторе (1) для получения восстановленного бокситового остатка;

- магнитное разделение (130, 131) восстановленного бокситового остатка для получения частей магнитных (Mag I, Mag II) и немагнитных (N. Mag I+II) материалов; причем дополнительно осуществляют следующие стадии, выполняемые последовательно:

- выщелачивание (140) части немагнитного материала серной кислотой с получением раствора выщелачивания, а затем декантация и фильтрация указанного раствора выщелачивания для извлечения кремнезема (SiO_2);

- осаждение (150) диоксида титана (TiO_2) из побочного продукта выщелачивания (140);

- выпаривание (160) побочного продукта осаждения (150) с получением насыщенного раствора, содержащего твердое вещество, содержащее глинозем; и

- прокаливание (170) твердого вещества, содержащего глинозем, полученного в результате выпаривания (160), с получением глинозема (Al_2O_3).

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что восстановитель содержит частицы размером менее 75 мкм, при этом смешивание (100) осуществляют в течение 10-30 мин до формирования карботермической смеси бокситового остатка и восстановителя при количестве восстановителя 5-50%.

3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что осуществляют стадию (101) гранулирования смеси остатка, полученной на стадии (100) смешивания, перед стадией (110) нагревания.

4. Способ по п. 1, отличающийся тем, что на стадии (110) нагревания бокситовый остаток облучают энергией 10-100 кВт·ч на тонну карботермической смеси в течение 2-18 мин, при этом поддерживают температуру на уровне выше 80% от температуры перехода в магнитные фазы, в течение по меньшей мере двукратного времени, затрачиваемого на достижение температуры перехода в магнитные фазы.

5. Способ по п. 1, отличающийся тем, что также осуществляют следующие стадии:

- выполнение первого измельчения (120) побочного продукта стадии (110) нагревания;

- выполнение разделения (111) по размеру бокситового остатка, измельченного при первом измельчении (120), с получением грубой части (Gr) и мелкой части (Fi) остатка, причем грубая часть (Gr) образуется путем объединения части материала с размером крупнее 100 меш, отделенной первым циклонным сепаратором (SC1), с частью материала

с размером крупнее 200 меш, отделенной вторым циклонным сепаратором (SC2), и мелкая часть (Fi) образуется из части материала с размером мельче 200 меш, отделенной вторым циклонным сепаратором (SC2);

- выполнение магнитного разделения (130) грубой части (Gr) остатка для получения магнитной (Mag I) и немагнитной (N. Mag I) грубых частей;

- выполнение второго измельчения (121) мелкой части (Fi) остатка; и

- выполнение магнитного разделения (131) измельченной мелкой части (Fi) остатка для получения магнитной (Mag I) и немагнитной (N. Mag II) мелких частей.

6. Способ по п. 1, отличающийся тем, что выщелачивание (140) осуществляют при соотношении твердой и жидкой фаз от 1 до 10 г немагнитной части (N. Mag I+II) на 10 мл раствора серной кислоты в диапазоне концентраций от 2 до 6 моль/л.

7. Способ по п. 1, отличающийся тем, что выщелачивание (140) осуществляют в течение времени 30-120 мин при температуре 30-90°C при перемешивании со скоростью 400-600 об/мин.

8. Способ по п. 1, отличающийся тем, что при осаждении (150) осуществляют:

- добавление затравки TiO_2 к побочному продукту выщелачивания (140); и

- доведение гидроксидом натрия значения pH раствора до 1,5-2,5 для осаждения диоксида титана (TiO_2).

9. Способ по п. 1, отличающийся тем, что осаждение (150) осуществляют при перемешивании со скоростью 50-200 об/мин при температуре 10-90°C в течение 30-120 мин.

10. Способ по п. 1, отличающийся тем, что при выпаривании (160) осуществляют:

- выпаривание побочного продукта осаждения (150), богатого сульфатом алюминия, до плотности 10-16 градусов Боме, и

- добавление стехиометрического количества сульфата натрия и доведение значения pH раствора до 6-12 с помощью 50% раствора гидроксида натрия.

11. Способ по п. 1, отличающийся тем, что прокаливание (170) осуществляют при температуре 400-800°C в течение 30-120 мин.

12. Микроволновый реактор (1) для нагревания (110) смеси бокситового остатка с восстановителем в способе по п. 1, отличающийся тем, что он содержит:

- корпус (10), выполненный из теплоизоляционного материала, прозрачного для микроволн, который представляет собой ячеистый бетон с содержанием 75-95% Al_2O_3 и плотностью 0,7-1,2 г/см³;

- по меньшей мере токоприемную стенку (20, 21, 22), состоящую из токоприемного материала;

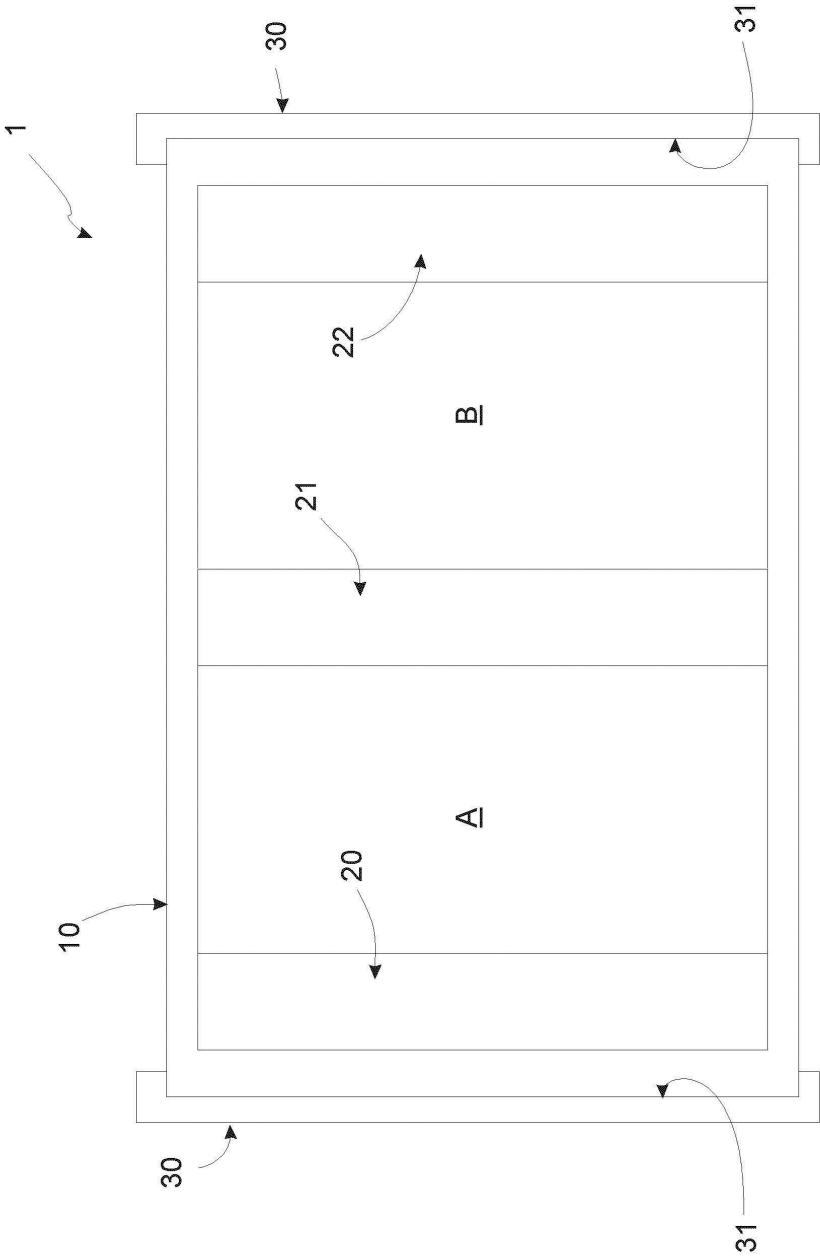
- по меньшей мере отражающую пластину (30), состоящую из материала, отражающего электромагнитные волны;

при этом область, ограниченная корпусом (10) и по меньшей мере токоприемной стенкой (20), образует по меньшей мере нагревательную камеру (А, В).

13. Микроволновый реактор (1) по п. 12, отличающийся тем, что токоприемный материал токоприемной стенки (20, 21, 22) представляет собой по меньшей мере одно из: карбида кремния, люминита и металлического титана.

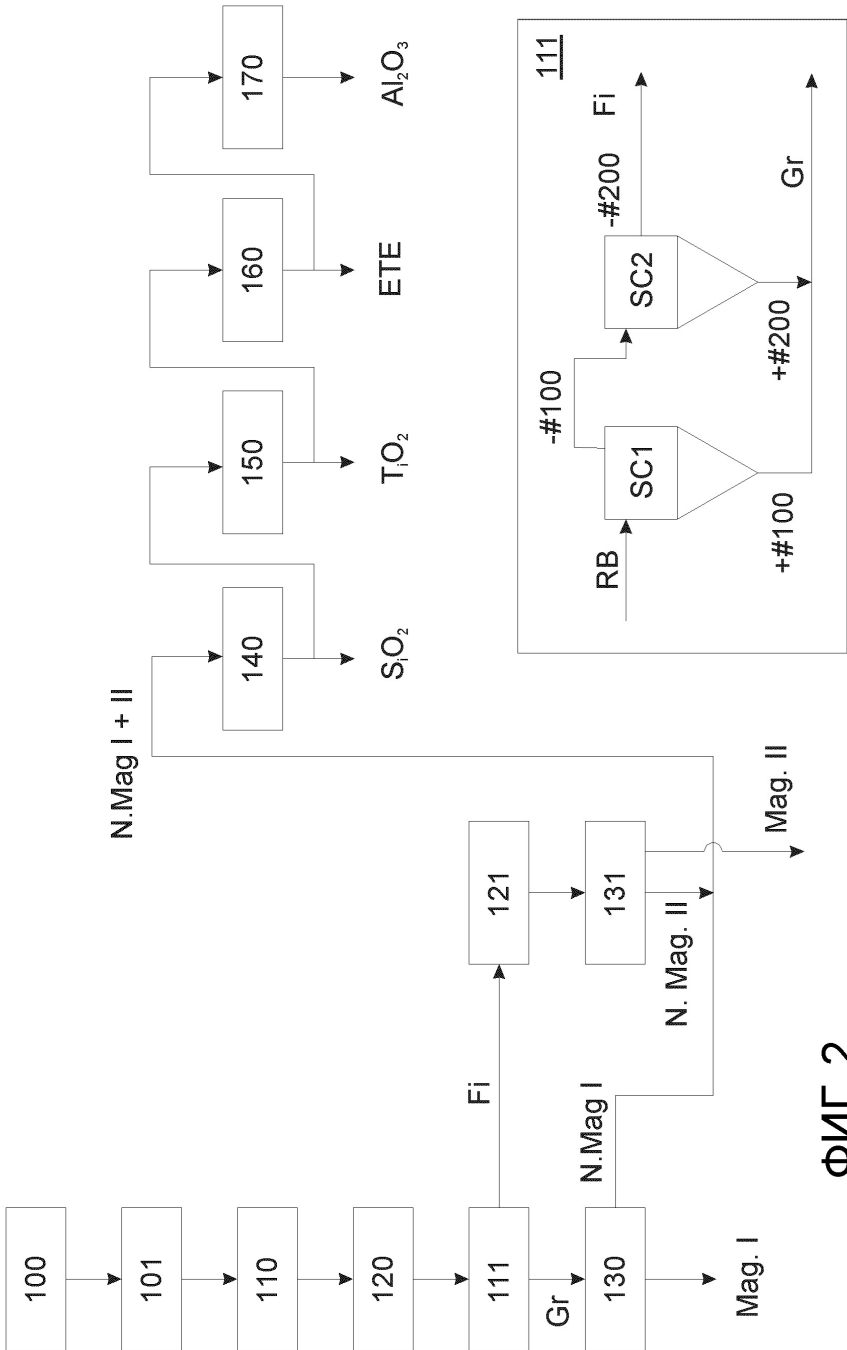
14. Микроволновый реактор (1) по п. 13, отличающийся тем, что отражающая пластина (30) содержит по меньшей мере матовую поверхность (31), обращенную к нагревательной камере (А, В).

1/5



ФИГ. 1

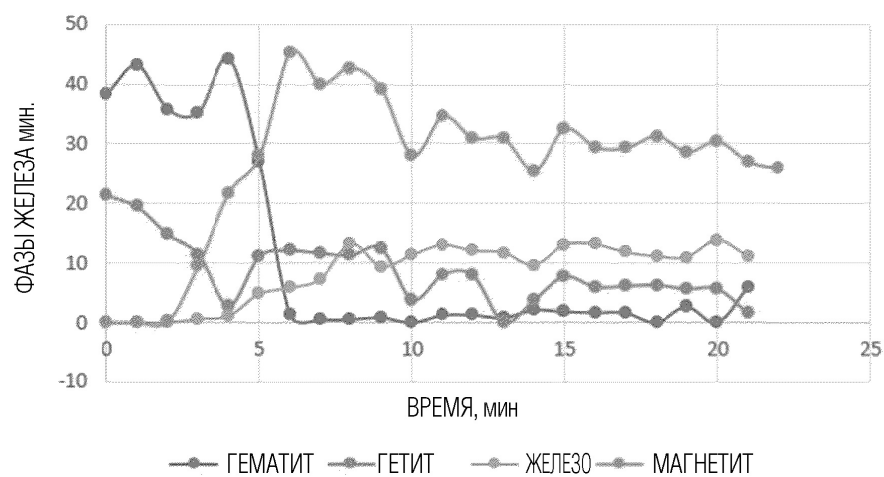
2/5



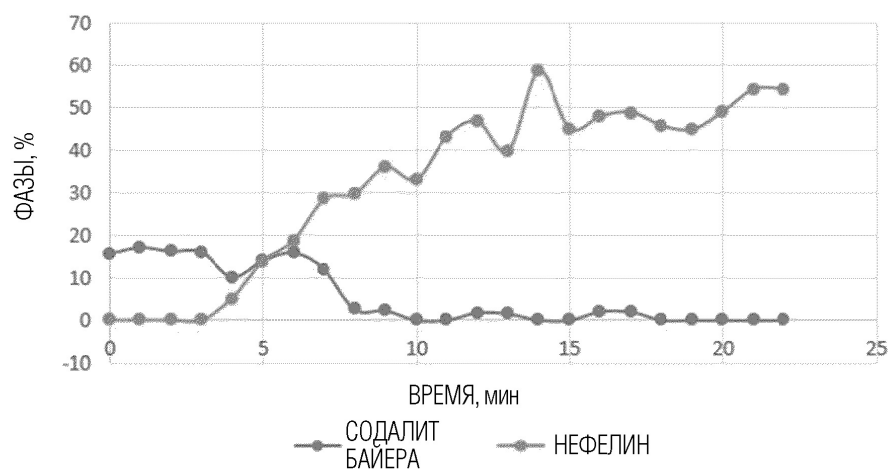
ФИГ. 2А

ФИГ. 2

3/5

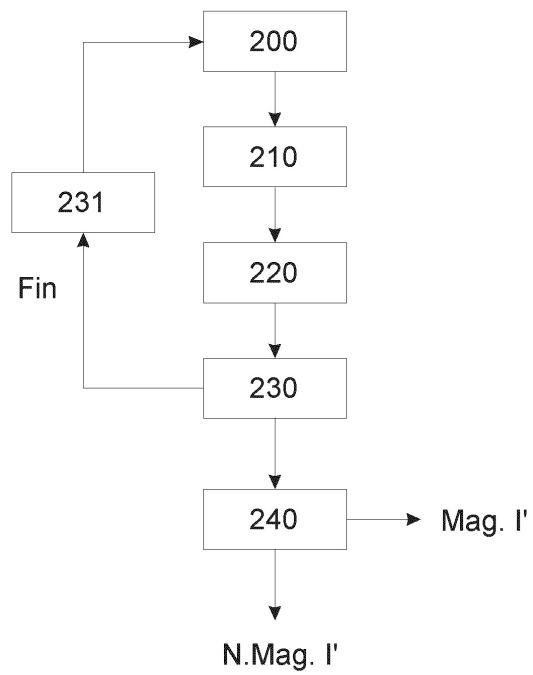


ФИГ. 3



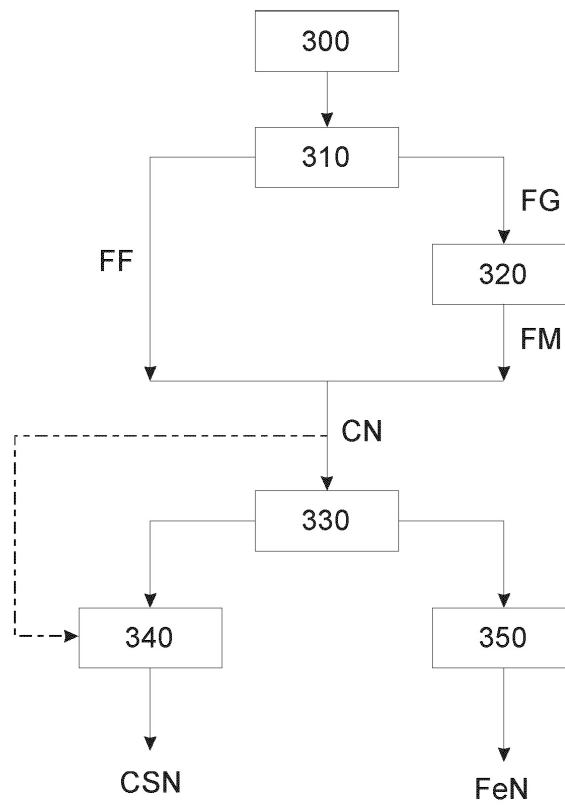
ФИГ. 4

4/5



ФИГ. 5

5/5



ФИГ. 6