

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **028620**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2017.12.29

(51) Int. Cl. **C01G 49/06** (2006.01)
C01F 7/06 (2006.01)

(21) Номер заявки
201690058

(22) Дата подачи заявки
2013.07.05

(54) **СПОСОБ И УСТАНОВКА ДЛЯ ОЧИСТКИ КРАСНОГО ШЛАМА**

(43) **2016.07.29**

(86) **PCT/EP2013/064325**

(87) **WO 2015/000535 2015.01.08**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ОУТОТЕК (ФИНЛЭНД) ОЙ (FI)

(56) US-A1-2009311154
US-A-3876749
GB-A-1147241
WO-A1-2013040645
US-A1-2009072538
US-A1-2002061489

(72) Изобретатель:
Адипури Эндрю, Газафи Эдгар (DE)

(74) Представитель:
Поликарпов А.В. (RU)

(57) Способ очистки красного шлама, включающий следующие стадии: 1) восстановление красного шлама до восстановленного материала и 2) пропускание через восстановленный материал кислородсодержащего газа в присутствии катализатора, подходящего для окисления железа.

B1

028620

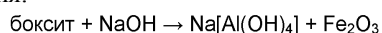
028620

B1

Изобретение относится к способу очистки красного шлама и к установке для выполнения этого способа.

Красный шлам представляет собой отходы от производства алюминия из боксита - алюминиевой руды, которая в основном состоит из алюминиевых минералов: гиббсита (гидраргилита, $\gamma\text{-Al}(\text{OH})_3$), бемита ($\gamma\text{-AlO}(\text{OH})$), диаспора ($\alpha\text{-AlO}(\text{OH})$), а также оксидов железа: гематита (Fe_2O_3) и гетита ($\text{FeO}(\text{OH})$), глинистого минерала каолинита и небольшого количества оксида титана анатаза (TiO_2). Наиболее важные страны-производители включают Австралию, Китай, Бразилию, Гвинею, Ямайку и Индию. Из примерно 95% добытого боксита получают алюминий.

Производство алюминия из боксита осуществляют согласно процессу Байера, разработанному Карлом Джоозефом Байером. В этом процессе используют тот факт, что гидроксиды алюминия, содержащиеся в мелкоизмельченном боксите, можно легко растворить в растворе гидроксида натрия при повышенных температурах. Поэтому мелкоизмельченный боксит смешивают с концентрированным раствором гидроксида натрия при повышенном давлении (от 500 до 800 кПа (от 5 до 8 бар)) и температуре от 160 до 200°C. Протекает следующая реакция:



В результате получают раствор алюмината натрия, который содержит нерастворенные остатки. Эти остатки, так называемый красный шлам, отделяют, например, путем фильтрации. Из разбавленного алюминатного щелока затем можно осадить гидроксид алюминия и подвергнуть обжигу при температурах выше 1000°C с получением алюминия.

Красный шлам в основном состоит из оксидов железа и титана, а также различных соединений кремниевой кислоты, и он приобретает свой характерный красный цвет от содержащегося в нем гидроксида железа(III). В зависимости от качества используемого боксита, получают от 1 до 1,6 т красного шлама, в случае высококачественного, например, тропического боксита, а в случае европейского боксита получают даже от 3,2 до 3,7 т влажного красного шлама на 1 т полученного алюминия. Конечные расходы на захоронение отходов составляют примерно 5% от всех расходов на производство алюминия.

Более внимательное изучение состава красного шлама показывает, что он состоит из 20-65 мас.% Fe_2O_3 , 10-27 мас.% Al_2O_3 , 5-25 мас.% TiO_2 , 8-10 мас.% CaO , 4-20 мас.% SiO_2 , 1-2 мас.% MgO и 2-8 мас.% Na_2O , в зависимости от минералогического состава боксита, а также конкретных технологических параметров процесса Байера.

Сильно щелочной шлам ранее сваливали или сбрасывали в реки без дополнительных предосторожностей, что приводило к значительному вредному влиянию на окружающую среду. Сейчас шлам обычно хранят в герметичных могильниках до тех пор, пока гидроксиды и силикаты, присутствующие в виде дисперсии, в основном не осядут. Просачивающийся раствор гидроксида натрия повторно используют, могильник засыпают песком и землей и рекультивируют. Краткосрочная опасность сбрасывания красного шлама в основном обусловлена высоким содержанием сильнощелочного раствора гидроксида натрия. Долгосрочный вред происходит от содержания ядовитого тяжелого металла, который зависит от происхождения и типа боксита, в котором в особенности токсичные компоненты присутствуют в виде анионов, таких как фториды, арсенаты, хроматы и ванадаты, вымываемых из шлама.

Проблема большого количества красного шлама при производстве алюминия становится особенно понятной на примере так называемой катастрофы Колонтара, 4 октября 2009 г., в результате прорыва плотины вблизи Колонтара, от 700000 до 1000000 м³ красного шлама вытекло из хранилищ алюминиевого завода в венгерском поселке Айка, и была затоплена площадь 40 км², в том числе несколько поселков. Десять человек погибло из-за потока шлама, 150 человек пострадало.

Хотя красный шлам создает экологические проблемы, он также содержит ценные продукты, в частности соединения титана. Из-за практикуемого в настоящее время сбрасывания красного шлама, эти ценные продукты не подлежат какой-либо дальнейшей утилизации.

Поэтому, до настоящего времени опробуют различные технологии для получения ценных материалов из красного шлама. Такой технологией является восстановление высушенного красного шлама с последующим извлечением железа с помощью магнитного сепаратора (см. S. Kumar, R. Kumar, A. Bandopadhyay, Review innovative methodologies for the utilization of wastes from metallurgical and allied industries resources, Conservation and Recycling, 48, 2006, p. 301-314).

Из литературы также известно плавление красного шлама в подходящей печи (например, в шахте доменной печи) без предварительного восстановления, при этом получают чугун в чушках и алюминиевый клинкер для цементной промышленности при 1600-1700°C (см. F.P. Piga, L. Stoppa, Recovering metals from red mud generated during alumina production, JOM, 45(11), 1993, p. 55-59; R. Kumar, S. Srikanth, P. Ramachandrarao, L.I. Leontiev, A.I. Kholkin, V.V. Belove, editors, Phase stability in the $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{CO}_3\text{-C}$ system and its implications in the processing of red mud. Metallurgy of nonferrous and rare metals, 2002, p. 137-53; R. Kumar, J.P. Srivastava, J.P. Premchand. Utilization of iron values of red mud for metallurgical applications, in: Bandopadhyay A., Goswami N.G., Ramachandrarao P., editors. Proceedings of environmental and waste management in nonferrous metallurgical industries, 1198, p. 108-119).

Эти два способа, однако, обладают тем недостатком, что полное восстановление металлических

компонентов, содержащихся в твердом состоянии, например, при плавлении, проводят только при очень высоких температурах, составляющих более 1500°C и, таким образом, при большом количестве полученного красного шлама потребляется очень большое количество энергии. Также проблемой является то, что из-за паров натрия, выделяющихся из красного шлама при этих температурах, восстановительная печь может быть повреждена.

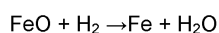
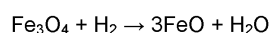
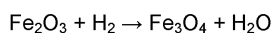
В CN 102174664 A описано восстановление красного шлама во вращающейся обжиговой печи, где уголь используют в качестве восстанавливающего агента, и температура процесса является более низкой, от 1000 до 1550°C. Из-за низких реакционных температур нет гарантии, что действительно достигают достаточной степени восстановления. Хотя это можно компенсировать с помощью длительного времени выдержки, это, в свою очередь, снижает экономичность способа и к тому же влечет за собой риск повреждения вращающейся обжиговой печи.

Поэтому целью изобретения является обеспечение способа и установки для выполнения этого способа, при котором количество отходов, полученных при производстве алюминия, можно уменьшить экономически выгодным путем и по меньшей мере часть красного шлама можно извлечь в виде ценных продуктов.

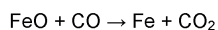
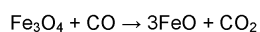
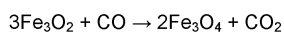
Согласно изобретению этой цели достигают с помощью способа, обладающего признаками, изложенными в п.1 формулы изобретения. На первой стадии красный шлам, по меньшей мере, частично восстанавливают, при этом получают восстановленный материал. Впоследствии, на второй стадии, кислородсодержащий газ пропускают через этот восстановленный материал в присутствии подходящего катализатора.

Восстановление на стадии 1 выполняют при температуре от 800 до 1500°C, предпочтительно от 1000 до 1450°C, при этом нагрузку реактора можно уменьшить. Целью стадии восстановления является восстановление полученного оксида железа до металлического железа, чтобы можно было провести реакцию далее на второй стадии.

Водород, углеводороды (здесь предпочтительно метан), монооксид углерода и/или уголь равным образом подходят в качестве восстанавливающих агентов. Также возможна смесь восстанавливающих агентов, особенно, когда используют газообразные восстанавливающие агенты. Выбор подходящего восстанавливающего агента главным образом определяется типом используемого реактора. Для примера использования в качестве восстанавливающих агентов водорода и СО ниже представлены реакции, протекающие на стадии восстановления, при этих реакциях оксид железа восстанавливается до элементарного железа за три стадии:

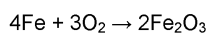


или



Оксиды кремния, алюминия и магния, все еще содержащиеся в большом количестве, являются стабильными при используемых температурах реакции от 1000 до 1450°C. Присутствующий оксид титана частично восстанавливается до фазы Магнели, получаемый аносовит Ti_3O_5 является растворимым в кислоте и может быть превращен в диоксид титана (TiO_2) посредством сульфатного способа, при этом здесь получают ценный продукт для рынка красителей.

На второй стадии способа через восстановленный материал пропускают кислородсодержащую среду в присутствии катализатора, подходящего для окисления железа. Благодаря протекающей реакции, ранее восстановленное железо окисляют кислородом, при этом образуется ржавчина согласно следующему уравнению реакции:



Затем этот оксид железа можно легко удалить путем промывки.

Было обнаружено, что для достижения тщательного перемешивания с катализатором является преимуществом добавлять его в твердом состоянии и смешивать с восстановленным материалом перед пропуском через него кислородсодержащей среды.

Предпочтительно катализатор представляет собой галоидное соединение аммония, особенно подходит хлорид аммония из-за его низкой цены. Кроме того, в качестве катализатора можно использовать другие аминовые соединения, такие как хлорид этилендиаммония.

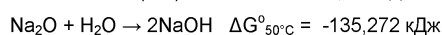
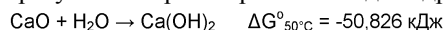
Катализатор, в этом случае чистый хлорид аммония NH_4Cl , растворяют в жидкой среде, предпочтительно в воде (H_2O).

Предпочтительно содержание хлорида аммония в смеси восстановленного материала и катализатора составляет от 0,5 до 3 мас.%, более предпочтительно от 0,5 до 1 мас.% и особенно предпочтительно примерно 1 мас.%, при этом одновременно получают особенно высокую степень превращения и высокую селективность.

В качестве кислородсодержащей среды предпочтительно используют воздух, который обладает тем преимуществом, что его можно непосредственно засасывать из окружающей среды, содержание в нем кислорода достаточно для реакции и в то же время присутствующее количество кислорода не приводит к избыточной коррозии установки.

Было обнаружено, что особенно благоприятно выполнять вторую стадию способа при температуре от 75 до 95°C, предпочтительно от 80 до 90°C и особенно предпочтительно при примерно 85°C, с кислородсодержащей средой, протекающей в восстанавливаемый материал с расходом от 2 до 20 норм. л/мин, предпочтительно от 5 до 10 норм. л/мин. Вторая стадия отличается аэратором, в котором воздух продувают через каталитический раствор NH_4Cl . Затем в аэратор вводят восстановленный красный шлам.

Помимо этого, было обнаружено, что является благоприятным, когда перед первой стадией способа (восстановлением) красный шлам промывают промывочной водой, при этом получают промытый шлам. Таким образом можно удалить грубые примеси, в частности таким образом можно удалить оксид кальция и оксид натрия, поскольку образуются их растворимые в воде гидроксиды:



Это обладает тем преимуществом, что присутствующие щелочи уже удаляют на этом этапе и впоследствии они не нагружают стадии способа ниже по потоку.

Предпочтительно используемую промывочную воду забирают из водного источника без дополнительной предварительной обработки. Это может быть как вода с обычным качеством питьевой воды, так и морская вода, так как растворенные в ней соли не оказывают влияния на протекающие реакции. Поэтому дорогостоящая обработка воды не является необходимой.

В предпочтительном воплощении изобретения промывочную воду используют с температурой от 30 до 60°C, предпочтительно от 40 до 50°C, так как благодаря слегка повышенной температуре промывка может происходить с более высокой степенью превращения.

Промывочную воду добавляют в количестве от 0,01 до 0,1 л H_2O /кг красного шлама, предпочтительно от 0,05 до 0,07 л H_2O /кг красного шлама и особенно предпочтительно 0,06 л H_2O /кг красного шлама, так как это количество воды является достаточным для обеспечения почти полной промывки и в то же время избегают избыточного увеличения размеров установки из-за больших потоков воды.

Промывку как таковую проводят в течение от 1 до 5 ч, в частности, при указанных температурах и количестве промывочной воды, предпочтительно от 3 до 4 ч.

Кроме того, когда красный шлам предварительно промывают, целесообразным является подвергать материал сушке перед восстановлением и, таким образом, уменьшать потоки материала. Это имеет дополнительное преимущество, состоящее в том, что при восстановлении можно сохранить дополнительное количество энергии для испарения содержащейся воды и сэкономить на конструкции устройства, которое фактически обеспечивает выпуск такого большого количества пара.

Сушка особенно эффективно происходит при температурах от 80 до 130°C, предпочтительно от 95 до 110°C и особенно предпочтительно при 100°C.

Кроме того, как уже отмечено, удаление оксида железа, полученного на стадии 2 (пропускание кислородсодержащего газа), возможно, поскольку он выщелачивается, т.е. вымывается теплой водой. В принципе, однако, также возможно сравнительно легко осуществлять другие типы разделения, например, с помощью магнитного сепаратора, так как способ по изобретению предоставляет преимущество раздельного восстановления спектра продуктов, содержащихся вместе с оксидами металлов в красном шламе.

Выщелачивание оксида железа из водной фазы имеет преимущество в том, что оксид железа можно впоследствии отделить от используемой промывочной воды путем разделения твердого вещества и жидкости, и его можно выгружать в твердой форме в качестве представляющего ценность продукта или также в качестве отходов. Жидкость, полученную из разделения твердого вещества и жидкости, можно подавать на стадию 2 способа (пропускание кислородсодержащего газа) для поддержания определенного уровня объема при рабочих температурах от 80 до 90°C. Также возможно добавлять свежую воду, однако путем использования отработанного возвратного потока уменьшают общий расход воды.

На конечной стадии сушки твердые вещества, оставшиеся после выщелачивания оксида железа, выделяют из водных остатков, в которых они все еще содержатся, с получением требуемого смешанного продукта. Смешанный продукт, по существу, содержит оксид кремния (SiO_2), оксид магния (MgO), оксид алюминия (Al_2O_3) и оксид титана (TiO_2) со следами Ti_2O_5 . Из-за сравнительно высокого содержания в нем алюминия, составляющего от 40 до 60 мас.%, этот порошок материал можно добавлять в сырье процесса Байера.

Из-за подобного очень высокого содержания диоксида кремния, составляющего от 20 до 40 мас.%, и в общем инертных свойств материала, полученные твердые вещества можно, однако, также использовать в виде твердых теплоносителей. Твердые теплоносители представляют собой материалы, которые остаются стабильными вплоть до 1000°C и поэтому подходят в качестве теплоносителей для пиролиза лигнита, торфа и нефтеносного песка или битуминозного сланца.

Наконец, возможно извлекать TiO_2 , также присутствующий в количестве от 10 до 30 мас.%, в фазе

рутила, и этот оксид подвергают дополнительному восстановлению. Получают Ti^{3+} , который растворим в серной кислоте и может быть переработан в красители на основе TiO_2 путем так называемого сульфатного способа. Путем перевода оксида титана в низкие степени окисления улучшают растворимость в кислоте (Fisher J., Egerton T. A., Titanium Compounds Inorganic, Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, 2001; Sahu K. K., Alex C. T., Agrawal A. M. D., An overview on the production of pigment grade titania from titania-rich slag, Waste Manage Res., 24, 2006, p. 74-79). Из-за более высокой растворимости этих оксидов титана уменьшается требуемое количество серной кислоты в так называемом сульфатном способе, при этом можно понизить количество отходов не только в процессе Байера, но также в производстве красителей на основе оксида титана.

Таким образом, посредством настоящего изобретения возможно получить инертный, малотоксичный и более экологичный материал из щелочного красного шлама, который, к тому же, подходит как в качестве твердого теплоносителя, так и для производства белого красителя.

Помимо этого, настоящее изобретение также включает установку для очистки красного шлама, обладающую признаками, изложенными в п.20 формулы изобретения. Эта установка особенно подходит для выполнения способа по пп.1-19 формулы изобретения. Установка включает устройство для восстановления красного шлама до восстановленного материала и расположенное ниже по потоку устройство для пропускания через восстановленный материал кислородсодержащего газа в присутствии подходящего катализатора.

Особенно предпочтительно устройство для восстановления и устройство для пропускания через восстановленный материал кислородсодержащего газа представляют собой либо реактор с псевдооживленным слоем, либо вращающуюся обжиговую печь. Эти два типа реакторов обладают тем преимуществом, что в них твердые вещества можно особенно хорошо обработать.

Когда для восстановления используют реактор с псевдооживленным слоем, рекомендуется вводить газообразный восстанавливающий агент, который вводят, например, вместе с псевдооживляющим газом или, по меньшей мере, частично заменяют им псевдооживляющий газ, чтобы гарантировать приведение в контакт с восстанавливающим агентом всех частиц в псевдооживленном слое.

Использование вращающейся обжиговой печи особенно выгодно, когда перед восстановлением не обеспечивают сушку или обеспечивают только частичную сушку, так как в данном случае содержание влаги не влияет на массоперенос внутри реактора. Для обеспечения достаточного контакта с восстанавливающим агентом, для этого типа реактора рекомендуют использование твердого восстанавливающего агента, например угля.

В процессе аэрации восстановленный красный шлам перемешивают в 1,0-1,5 мас.% растворе NH_4Cl при начальном значении pH 6-7, в то время как воздух вдувают в нижнюю часть бака для аэрации через продувочную трубу с прорезями и диспергируют с помощью вращающейся мешалки. Железо в восстановленном красном шламе растворяется и диффундирует к поверхности извлечения через сеть пор. Присутствие NH_4Cl в растворе увеличивает проводимость щелока.

Осаждение гидратированного оксида железа происходит в объеме щелока аэрации. Тепло экзотермической реакции и предварительный нагрев щелока NH_4Cl в теплообменнике дают увеличение температуры суспензии до максимум $100^\circ C$, предпочтительно ниже $85^\circ C$.

Стадия аэрации представляет собой периодический процесс. Каждую партию формируют из 40 т восстановленного красного шлама. Отношение твердого вещества к жидкости составляет 1:2. Время аэрации для завершения окисления металлического железа обычно составляет 5-20 ч, предпочтительно 10-13 ч, в зависимости от содержания металлического железа в восстановленном красном шламе.

Объем воздуха, вводимого в бак аэрации, приблизительно в три раза больше стехиометрического количества, требуемого для окисления металлического железа ($Fe(met)$) в Fe_2O_3 . Потери от испарения из щелока восстанавливают путем добавления технологического щелока. Каждая стадия аэрации состоит из 3 последовательных действий: заполнение, аэрация, опорожнение.

Дополнительные подробности, преимущества и возможные применения изобретения также приведены в нижеследующем описании приведенного в качестве примера воплощения и чертежей. Все описанные признаки составляют объект изобретения сами по себе или в любом сочетании, независимо от их включения в пункты формулы изобретения или отсылок.

На чертеже показана схематическая конструкция установки по изобретению.

В установке согласно чертежу красный шлам вводят в промывочное устройство 13 через трубопровод 11. Промывочный агент, который предпочтительно является водой питьевого качества или морской водой, вводят в промывочное устройство 13 через трубопровод 12. Через трубопровод 14 и трубопровод 15 гидроксиды $Ca(OH)_2$ и $NaOH$, полученные при промывке, выгружают совместно с промывочной водой.

Промытый красный шлам выводят из промывочного устройства 13 через трубопровод 16, и оттуда он поступает в устройство 17 сушки. Его сушат в этом устройстве при температуре от 95 до $105^\circ C$, предпочтительно до получения материала в порошковой форме.

Через трубопровод 18 этот порошковый материал затем вводят в устройство 19 восстановления. Через трубопровод 20 в устройство 19 восстановления загружают восстанавливающий агент, который

может представлять собой водород, углеводороды, монооксид углерода или уголь. Агрегатное состояние восстанавливающего агента зависит от типа используемого реактора. В предпочтительном воплощении используют вращающуюся обжиговую печь с твердым восстанавливающим агентом или реактор с псевдоожженным слоем с газообразным восстанавливающим агентом.

В результате восстановления получают отработанные газы, которые через трубопровод 21 можно направить на обработку 22 отработанных газов и после обработки их можно выпускать в окружающую среду через трубопровод 23.

После прохождения через эти стадии предварительной обработки, восстановленный материал подают на фактическую химическую обработку через трубопровод 24. Указанную химическую обработку осуществляют в реакторе 30, в который с одной стороны вводят подходящий катализатор, особенно предпочтительно хлорид аммония (NH_4Cl), через трубопровод 31, а кислородсодержащую среду, предпочтительно воздух, вводят через трубопровод 32. Поскольку восстановленный материал пересекается с кислородсодержащим газом, происходит селективное окисление присутствующего железа в Fe_2O_3 в присутствии катализатора.

Обработанный таким образом материал 33 затем подают на влажное разделение 34. В него вводят через трубопровод 35 промывочный агент, предпочтительно воду. Это приводит к выщелачиванию присутствующей ржавчины, которую в жидкой фазе перемещают на разделение 40 твердого вещества и жидкости через трубопровод 39. Отделенный там твердый оксид железа выводят из процесса через трубопровод 41 и его можно либо подавать в дальнейшую производственно-сбытовую цепочку, либо сбрасывать в виде экологически безвредного мусора. Через трубопровод 42 полученную жидкость подают обратно в реактор 30 аэрации.

Через трубопровод 36 оставшиеся твердые продукты выгружают из влажного разделения 34. Эти продукты сушат в устройстве 37 сушки, предпочтительно при температурах от 90 до 110°C, перед тем, как готовый продукт выгружают через трубопровод 38. Готовый продукт можно использовать как сырье для процесса Байера, для производства красителей на основе оксида титана или в качестве твердого теплоносителя (ТТН).

Пример.

Предварительная обработка.

Красный шлак, содержащий 50 мас.% Fe_2O_3 , 11 мас.% CaO , 10 мас.% SiO_2 , 16 мас.% Al_2O_3 , 2 мас.% MgO , 5 мас.% Na_2O и 6 мас.% TiO_2 , промывают водой или морской водой при температуре от 40 до 50°C в течение 3 ч, при этом оксид кальция (CaO) и оксид натрия (Na_2O) преобразуются в результате реакции в водные гидроксиды $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и NaOH , и их удаляют из красного шлака вместе с промывочной водой. Благодаря промывке, щелочной красный шлак нейтрализуется, так как содержащиеся в нем ионы OH^- также вымываются.

Содержащийся в шлаке твердый материал затем сушат в течение 6 ч при температуре от 95 до 105°C.

Высушенный материал затем восстанавливают, при этом восстановление выполняют либо в реакторе с псевдоожженным слоем с водородом (H_2), метаном (CH_4) или монооксидом углерода, либо во вращающейся обжиговой печи с углем (C) в качестве восстанавливающего агента. Температура реакции составляет от 1000 до 1450°C, среднее время пребывания составляет 3 ч.

Присутствующие оксид кремния (SiO_2), оксид алюминия (Al_2O_3) и оксид магния (MgO) стабильны и не восстанавливаются при этих температурах. При температурах выше 1200°C присутствующий оксид титана восстанавливается до Ti_3O_5 и Ti_2O_3 . Почти 6 мас.% TiO_2 , содержащегося в красном шлаке, превращается в растворимые в кислоте оксиды (Ti_3O_5 и Ti_2O_3), восстановленные до Ti_3O_5 .

Химическая обработка.

Затем, при фактической химической обработке, материал смешивают с катализатором, при этом количество катализатора составляет приблизительно 1 мас.% от всей смеси восстановленного материала и катализатора. В качестве катализатора используют хлорид аммония.

Эту смесь затем аэрируют воздухом при температуре примерно 85°C, при этом расход, с которым воздух поступает в реактор, составляет от 5 до 10 норм. л/мин. Железо, полученное при восстановлении, таким образом окисляется, т.е. железо ржавеет.

Эту ржавчину затем легко можно отделить от полученного раствора. Отделение осуществляют путем выщелачивания из промывочной жидкости, предпочтительно воды. Продукт получают в виде твердого вещества. В приведенном примере он содержит 29,4 мас.% SiO_2 , 47,1 мас.% Al_2O_3 , 5,9 мас.% MgO и 17,6 мас.% TiO_2 со следами Ti_3O_5 . В принципе, также возможно дополнительно обработать выщелоченный оксид железа и таким образом получить его в качестве представляющего ценность продукта.

Часть оставшихся твердых веществ, а именно SiO_2 , Al_2O_3 и MgO , все еще стабильны и не восстанавливаются при температуре от 1000 до 1450°C. При дополнительном восстановлении содержащийся оксид титана частично можно превратить в фазу Магнели, при этом получают Ti_3O_5 , который очень легко растворится в кислоте. Это означает, что этот продукт особенно подходит для дополнительного восстановления, при этом соединения титана очень легко можно переработать в красители на основе TiO_2 в сульфатном способе.

Список обозначений:

- 11, 12 - трубопровод;
- 13 - промывочное устройство;
- 14 - трубопровод;
- 17 - устройство сушки;
- 18 - устройство восстановления;
- 20, 21 - трубопровод;
- 22 - дополнительная обработка отработанного газа;
- 23, 24 - трубопровод;
- 30 - реактор аэрации;
- 31-33 - трубопровод;
- 34 - промывочное устройство;
- 35, 36 - трубопровод;
- 37 - устройство сушки;
- 38, 39 - трубопровод;
- 40 - устройство для разделения твердого вещества и жидкости;
- 41, 42 - трубопровод.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ очистки красного шлама, включающий следующие стадии:

- 1) восстановление красного шлама до восстановленного материала при температуре от 800 до 1500°C и
 - 2) пропускание через восстановленный материал кислородсодержащего газа в присутствии катализатора, подходящего для окисления железа.
2. Способ по п.1, отличающийся тем, что стадию (1) выполняют в условиях непрерывного или периодического добавления восстанавливающего агента, который содержит водород, по меньшей мере один углеводород, монооксид углерода и/или уголь.
3. Способ по п.1 или 2, отличающийся тем, что стадию (1) выполняют при температуре от 1000 до 1450°C.
4. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что на стадии (2) в качестве катализатора используют аминовое соединение.
5. Способ по п.4, отличающийся тем, что на стадии (2) содержание аминового соединения составляет от 0,5 до 3 мас.%, исходя из общей массы смеси восстановленного материала и катализатора.
6. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что в качестве кислородсодержащего газа используют воздух.
7. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что стадию (2) выполняют при температуре от 75 до 95°C.
8. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что на стадии (2) кислородсодержащий газ протекает в восстановленный материал с расходом от 2 до 20 норм. л/мин.
9. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что перед стадией (1) красный шлам промывают промывочной водой, при этом получают промытый шлам.
10. Способ по п.9, отличающийся тем, что в качестве промывочной воды используют питьевую воду или морскую воду.
11. Способ по п.9 или 10, отличающийся тем, что промывочная вода имеет температуру от 30 до 60°C.
12. Способ по любому из пп.9-11, отличающийся тем, что промывочную воду добавляют в соотношении от 0,01 до 0,1 л H₂O/кг красного шлама.
13. Способ по любому из пп.9-12, отличающийся тем, что промывку осуществляют в течение от 1 до 5 ч.
14. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что перед стадией (2) красный шлам подвергают сушке.
15. Способ по п.14, отличающийся тем, что стадию сушки выполняют при температуре от 80 до 130°C.
16. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что после стадии сушки оксид железа выщелачивают из полученной смеси.
17. Способ по п.16, отличающийся тем, что выщелоченный оксид железа удаляют из водной фазы путем разделения твердого вещества и жидкости.
18. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что на стадии (2) добавляют воду и/или водную фазу, освобожденную от растворенных веществ.
19. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что после стадии (2) полученную смесь сушат.

