(19) **RU** (11) **2 196 834** (13) **C2**

(51) МПК[7] **C 21 B 13/00, C 22 B 5/14**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 2000117458/02, 01.12.1998

(24) Дата начала действия патента: 01.12.1998

(30) Приоритет: 02.12.1997 US 08/982,744

(43) Дата публикации заявки: 10.06.2002

(46) Дата публикации: 20.01.2003

(56) Ссылки: US 5185032, 09.02.1993. US 5439504, 08.08.1995. EP 0630975 A, 28.12.1994. SU 539945, 08.02.1977. SU 1493386 A1, 15.07.1989.

(85) Дата перевода заявки PCT на национальную фазу: 03.07.2000

(86) Заявка PCT:
IB 98/02131 (01.12.1998)

(87) Публикация PCT:
WO 99/28511 (10.06.1999)

(98) Адрес для переписки:
101000, Москва, М.Златоустинский пер., д.10, кв.15, "ЕВРОМАРКПАТ", пат.пов. М.В.Колесниковой рег.№ 0527

(71) Заявитель:
БРАЙФЕР ИНТЕРНЭШНЛ ЛТД. (BB),
ФЁСТ-АЛЬПИНЕ ИНДУСТРИАНЛАГЕНБАУ ГМБХ УНД КО. (AT)

(72) Изобретатель: ДАМ Оскар Дж. (VE),
АЛЬБАРРАН Вольфганг (VE)

(73) Патентообладатель:
БРАЙФЕР ИНТЕРНЭШНЛ ЛТД. (BB),
ФЁСТ-АЛЬПИНЕ ИНДУСТРИАНЛАГЕНБАУ ГМБХ УНД КО. (AT)

(74) Патентный поверенный:
Веселицкая Ирина Александровна

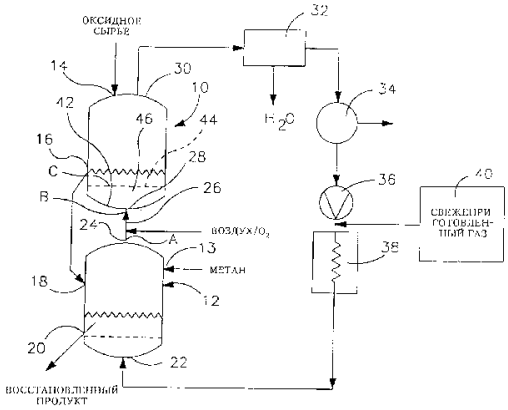
RU 2196834 C2

(54) СПОСОБ РЕФОРМИНГА ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ГАЗА В ПРОЦЕССЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РУДЫ В ПСЕВДООЖИЖЕННОМ СЛОЕ

(57)

Сущность: реформинг восстановительного газа осуществляют в процессе восстановления руды, которую пропускают через ряд реакторов с псевдоожиженным слоем. Способ включает пропускание восстановительного газа через последний реактор для восстановления в нем руды. Частично отработанный восстановительный газ, содержащий метан и металлизированную железную пыль, отводят из этого последнего реактора, подвергают смешению с источником кислорода, сжигают часть метана в присутствии металлизированной железной пыли для получения реформированного восстановительного газа, который после этого подают в предыдущий реактор. В случае, когда предусмотрен процесс предварительного нагрева, в ходе которого реакторы нагревают до технологической температуры, предусмотрено пропускание через последний реактор смеси инертного газа с метаном для ее контактирования с рудой, отвод газа, содержащего инертный газ, метан и уносимую железную пыль. Упомянутый отработанный газ смешивают с источником кислорода в присутствии железной пыли, сжигают часть метана с образованием восстановительного газа, содержащего водород и монооксид углерода. Полученный восстановительный газ подают в предыдущий реактор для предварительного восстановления руды. Технический результат заключается в повышении эффективности процесса в целом за счет использования тепла процесса восстановления и возможности получения восстановительного газа без дорогостоящего оборудования для реформинга. 2 с. и 22 з.п.ф-лы, 1 табл., 2 ил.

RU 2196834 C2



Фиг. 1

RU 2196834 C2

RU 2196834 C2

(19) **RU** (11) **2 196 834** (13) **C2**

(51) Int. Cl.[7] **C 21 B 13/00, C 22 B 5/14**

RUSSIAN AGENCY
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: 2000117458/02, 01.12.1998

(24) Effective date for property rights: 01.12.1998

(30) Priority: 02.12.1997 US 08/982,744

(43) Application published: 10.06.2002

(46) Date of publication: 20.01.2003

(85) Commencement of national phase: 03.07.2000

(86) PCT application:
IB 98/02131 (01.12.1998)

(87) PCT publication:
WO 99/28511 (10.06.1999)

(98) Mail address:
101000, Moskva, M.Zlatoustinskij per., d.10, kv.15, "EVROMARKPAT", pat.pov. M.V.Kolesnikovoj reg.№ 0527

(71) Applicant:
BRAJFER INTERNEhShNL LTD. (BB),
FËST-AL'PINE INDUSTRIANLAGENBAU GMBKh UND KO. (AT)

(72) Inventor: DAM Oskar Dzh. (VE),
AL'BARRAN Vol'fgang (VE)

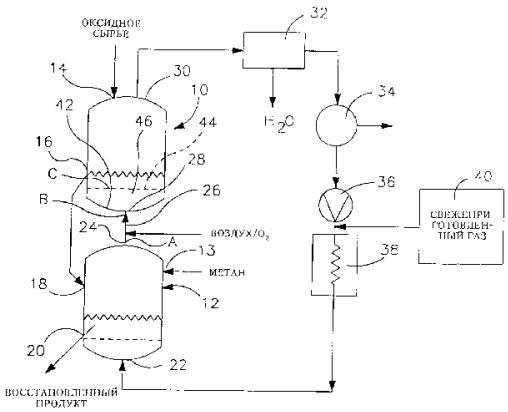
(73) Proprietor:
BRAJFER INTERNEhShNL LTD. (BB),
FËST-AL'PINE INDUSTRIANLAGENBAU GMBKh UND KO. (AT)

(74) Representative:
Veselitskaja Irina Aleksandrovna

(54) METHOD FOR REFORMING REDUCING GAS IN THE PROCESS OF REDUCING ORE IN FLUIDIZED BED

(57) Abstract:

FIELD: reforming of reducing gas. SUBSTANCE: method involves reforming reducing gas in the process of ore reduction by passing ore through row of fluidized bed reactors; directing reducing gas through outer reactor for reducing ore in it; discharging partly used reducing gas containing methane and metallized iron dust from outer reactor and mixing with oxygen source; burning part of methane in the presence of metallized iron dust for producing reformed reducing gas and supplying the latter into previous reactor; in case preheating process is provided, during which reactors are heated to processing temperature, directing inert gas and methane mixture outer reactor for contacting said mixture with ore; discharging gas containing inert gas, methane and carried-away iron dust; mixing waste gas with oxygen source in the presence of iron dust; burning part of methane with resultant formation of reducing gas containing hydrogen and carbon monoxide; supplying produced reducing gas into previous reactor for preliminary ore reduction. EFFECT: increased efficiency by using heat of reduction process and provision for obtaining reducing gas without employment of expensive reforming equipment. 24 cl, 2 dwg, 1 tbl



Фиг. 1

RU 2196834 C2

RU 2196834 C2

Изобретение относится к способу восстановления железной руды в псевдоожиженном слое, в частности к способу реформинга восстановительного газа, используемого в этом процессе и к способу приготовления восстановительного газа.

В патенте US 5192486, выданном на имя Whipp, предлагаются способ восстановления руды в псевдоожиженном слое и установка для его осуществления. В этом патенте представлен способ, при осуществлении которого оксид железа проходит через ряд реакторов для обработки руды и контактирует с восстановительным газом, в результате чего образуется восстановительный или металлизированный железосодержащий продукт. Восстановительный газ для таких процессов, как правило, получают в специально предназначенных для этого установках, известных как реформинг-установки. Типичные реформинг-установки представляют собой установки стехиометрического типа, в которых применяют смеси природного газа/монооксида углерода, конверсию с водяным паром и частичное сжигание. Установки для проведения процессов реформинга первых двух видов, в частности для реформинга с использованием природного газа/монооксида углерода и конверсии с водяным паром, являются исключительно дорогими и в них используют дорогие катализаторы.

Методу частичного сжигания также свойственны определенные недостатки. Так, например, серный компонент тяжелых углеводородов, которые, как правило, используют в качестве топлива, проявляет тенденцию к загрязнению металлсодержащих продуктов. Проблему создает также осаждение углерода на применяемом для этого оборудовании. Более того, в ходе проведения этих процессов в реакторах и восстановительном газе накапливается азот, оказывающий нежелательное влияние на восстановительную способность газа.

В способах, осуществляемых в псевдоожиженном слое, таких как описанный у Whipp в патенте US 5192486, руду последовательно пропускают сверху вниз через ряд реакторов, тогда как газ через те же реакторы последовательно пропускают снизу вверх. Было установлено, что газ, проходящий через реакторы, из подвергаемого восстановлению рудного материала уносит пыль и порошкообразный компонент, которые могут вызвать в реакторе серьезное засорение и создать другие сложности.

Принимая во внимание сказанное выше, очевидно, что сохраняется необходимость в разработке способа, который позволял бы получать восстановительный газ и проводить процесс восстановления в псевдоожиженном слое с меньшими затратами, повышенной эффективностью и слабой тенденцией к засорению.

Таким образом, первой задачей настоящего изобретения является разработка способа получения восстановительного газа для использования в процессе, проводимом в псевдоожиженном слое, без дорогостоящего оборудования для реформинга.

Следующей задачей настоящего изобретения является разработка такого способа получения восстановительного газа таким путем, в котором можно было бы использовать тепло, уже имеющееся при проведении процесса в псевдоожиженном слое, что позволило бы повысить эффективность процесса в целом.

Еще одной задачей настоящего изобретения является разработка такого способа получения восстановительного газа в сочетании с проводимым в псевдоожиженном слое процессом, в котором можно было бы использовать преимущества, связанные с уносом порошкообразного или пылевидного материала частично отработанным газом, и который, кроме того, позволял бы подавлять тенденцию к образованию чрезмерных отложений или засорению реакторного оборудования.

Другие задачи и преимущества настоящего изобретения представлены ниже.

Вышеуказанные задачи решаются в соответствии с настоящим изобретением с достижением целого ряда преимуществ.

В соответствии с изобретением предлагается способ реформинга восстановительного газа в процессе восстановления руды в псевдоожиженном (таком как барботажном, струйном, циркуляционном и т.д.) слое, заключающийся в том, что руду пропускают через несколько реакторов псевдоожиженного слоя, включающих последний реактор и по меньшей мере один предыдущий реактор, через последний реактор пропускают восстановительный газ и восстанавливают в нем руду, из этого последнего реактора отводят поток частично отработанного восстановительного газа, включающего метан и металлизированную железную пыль, с частично отработанным восстановительным газом смешивают источник кислорода и сжигают часть метана в присутствии металлизированной железной пыли с получением подвергнутого реформингу восстановительного газа, и подвергнутый реформингу восстановительный газ подают в предыдущий реактор.

Согласно данному изобретению заявлен способ приготовления восстановительного газа во время предварительного нагрева до технологической температуры в ходе проведения процесса восстановления руды в псевдоожиженном слое в ряде восстанавливающих руду реакторов, заключающийся в том, что

(а) смесь инертного газа с метаном пропускают через последний реактор таким образом, чтобы в этом последнем реакторе она контактировала с рудой, вследствие чего из последнего реактора отводят поток газа, включающего инертный газ, метан и уносимую железную пыль,

(б) с потоком газа смешивают источник кислорода таким образом, чтобы источник кислорода сжигал часть метана в присутствии железной пыли, в результате чего образуется восстановительный газ, включающий водород и монооксид углерода, и

(в) в предыдущий реактор подают восстановительный газ таким образом, чтобы в этом предыдущем реакторе происходило предварительное восстановление руды.

Ниже изобретение более подробно поясняется на примере предпочтительного варианта его выполнения со ссылкой на

RU 2196834 C2

RU 2196834 C2

прилагаемые чертежи, на которых показано:

на фиг. 1 - технологическая схема, иллюстрирующая предлагаемый в изобретении способ;

на фиг. 2 - увеличенное схематическое изображение части реактора, используемого в технологической схеме по фиг.1.

Настоящее изобретение относится к способу восстановления железной руды в псевдоожиженном слое, в частности к способу улучшения или реформинга газообразного раскислителя в сочетании с проводимым в псевдоожиженном слое процессом.

На фиг.1 показана технологическая схема системы для восстановления руды в псевдоожиженном слое, которая используется в предлагаемом способе. На фиг. 1 показаны два реактора 10, 12 для обработки руды, которые применяют для контактирования исходного оксида железа с восстановительным газом, в результате чего образуется восстановленный или металлизированный железосодержащий продукт. В предпочтительном варианте реактор 10 снабжен впускным отверстием 14 для поступления окисленных руд, подвергаемых раскислению, и выпускным отверстием 16 для восстановленного или частично восстановленного продукта, а реактор 12 снабжен впускным отверстием 18 для руды и выпускным отверстием 20 для готового продукта. Как показано на чертежах, в предпочтительном варианте впускное отверстие 18 реактора 12 последовательно сообщается с выпускным отверстием 16 реактора 10, благодаря чему руда, направляемая через реактор 10, далее последовательно поступает, например под действием силы тяжести, в реактор 12. Таким образом, в настоящем описании реактор 10 называется "предыдущим реактором", тогда как реактор 12 называется "последним реактором". Необходимо отметить, что показанная на фиг.1 схема является лишь примером, иллюстрирующим настоящее изобретение, и что объем изобретения данным числом реакторов не ограничивается. Следовательно, хотя на схеме по фиг.1 показаны два однослойных реактора, можно было бы применять три или большее число однослойных реакторов или в альтернативном варианте можно было бы применять единственный многостадийный реактор, в котором каждую стадию или слой следует рассматривать в качестве представленного в настоящем описании реактора, либо можно было бы применять реакторы этих типов в сочетании между собой и/или с одним или несколькими реакторами для предварительного нагрева, причем все эти варианты охватываются объемом настоящего изобретения.

При осуществлении предлагаемого способа оксид железа, направляемый в реакторы 10, 12, контактирует с восстановительным газом, который в предпочтительном варианте богат водородом и монооксидом углерода, в условиях, которые выбирают таким образом, чтобы извлечь из оксида железа кислород и благодаря этому получить металлизированный или восстановленный железосодержащий продукт. В предпочтительном варианте поток восстановительного газа направляют в противотоке к потоку оксида железа, например через впускное отверстие 22 для газа реактора 12 к выпускному отверстию 24 реактора 12, по линии 26 к впускному отверстию 28 для газа реактора 10 и в завершение отводят из выпускного отверстия 30 для газа реактора 10.

В патенте US 5192486, выданном на имя Whipp и включенном в настоящее описание в качестве ссылки, описана система, в которой применяют три реактора, соединенных по описанной выше схеме. Таким образом, газ последовательно переходит из реактора 12 в реактор 10, и поэтому в настоящем описании реактор 10 можно называть "последним" для газового потока реактором.

Предпочтительный восстановительный газ, подаваемый вначале в реактор, например подаваемый во впускное отверстие 22 для газа последнего реактора 12, характеризуется следующим объемным составом: примерно 60-65% водорода, 4-6% монооксида углерода, 18-24% метана, 2-4% диоксида углерода, 1,0-1,8% водяного пара и остальное азот. В предпочтительном варианте этот газ направляют во впускное отверстие 22 реактора 12 при температуре в пределах от примерно 830 до примерно 850°С. Внутри реактора 12 часть восстановительного газа окисляется, тогда как оксиды железа восстанавливаются, в результате чего газ, отходящий из реактора 12, является частично отработанным.

Как указано ниже, в соответствии с настоящим изобретением частично отработанный газ обрабатывают таким образом, чтобы повысить его восстанавливающую способность для восстановления в предыдущем реакторе 10, вследствие чего улучшаются результаты процесса в целом.

После прохождения газа через следующий по ходу движения его потока реактор 10 или последний для газового потока реактор отработанный газ отводят из выпускного отверстия 30 для газа и, как правило, обрабатывают на различных участках с тем, чтобы удалить водяной пар и диоксид углерода и чтобы сжать и нагреть газ в степени, достаточной для повторного использования в процессе. В этом отношении отработанный газ можно последовательно направлять в установку 32 для резкого охлаждения газа и удаления воды, скруббер 34 для удаления CO_2 и H_2S, компрессор 36 и нагреватель 38 с целью кондиционирования возвращаемых газов для повторного использования в процессе, проводимом в псевдоожиженном слое. Как показано на чертеже, газы, возвращаемые в процесс через установку 32 для удаления воды, скруббер 34, компрессор 36 и нагреватель 38, можно соответствующим образом смешивать с дополнительным количеством или свежеприготовленным восстановительным газом, поступающим из установки 40 для приготовления восстановительного газа, как это показано на чертеже, в качестве которой можно эффективно применять реформинг-установку промышленного типа. Приемлемые свежеприготовленные газы включают восстановительный газ, окислитель и их смеси. В предпочтительном варианте свежеприготовленный газ можно смешивать, как показано на чертеже, с возвращаемым газом перед нагревателем 38. Далее смесь

RU 2196834 C2

RU 2196834 C2

возвращаемого в процесс и свежеприготовленного газов направляют во впускное отверстие 22 реактора 12 для дополнительной обработки оксидов внутри реакторов 10, 12.

Газ, проходящий через реакторы 10, 12, проявляет тенденцию к уносу пыли и порошкообразного материала из оксида железа, обрабатываемого в этих реакторах. Эту пыль газ переносит через последующие по ходу движения газового потока части системы. Этому порошкообразному материалу или пыли свойственна тенденция к образованию отложений на различных поверхностях системы, обусловливающих возникновение больших проблем с засорением в случае обычного реакторного оборудования. В соответствии с настоящим изобретением было установлено, что этот порошкообразный материал, который на выходе из последнего реактора 12 в значительной степени представляет собой металлизированную железную пыль, в приемлемых условиях может быть использован в качестве катализатора для конверсии частично отработанного газа, отходящего из последнего реактора 12, таким образом, чтобы повысить восстановительную способность газа, направляемого в предыдущий реактор 10. Более того, было установлено, что проведение реакции реформинга позволяет снизить температуру газа и/или в окружающих зонах в степени, достаточной для того, чтобы в существенной мере подавить образование отложений частицами пыли после начальной стадии и, следовательно, избежать возникновения проблем с засорением, с которыми обычно приходится сталкиваться.

Таким образом, в соответствии с изобретением выходящий из реактора 12 отработанный газ смешивают с кислородом, предпочтительно с дополнительным количеством метана, в присутствии уносимой пыли железа и оксидов с тем, чтобы сжечь образующуюся смесь, с получением в результате дополнительного количества тепла, необходимого для протекания целевой реакции реформинга, благодаря чему в реактор 10 поступает восстановительный газ, обладающий повышенной восстановительной способностью. На этом этапе добавление в реактор 12 метана, например через впускное отверстие 13, позволяет улучшить горение после смешения с воздухом/кислородом и в еще большей мере обеспечить дополнительными материалами реакции получения водорода и монооксида углерода.

Как показано на фиг. 1, в частично отработанный газ, отходящий из выпускного отверстия 24 последнего реактора 12, например по линии 26, вводят источник кислорода, что позволяет частично сжигать часть метана в этом частично отработанном газе, генерируя, таким образом, дополнительное тепло, которое используют в последующей реакции реформинга в присутствии пыли восстановленного металла в качестве катализатора, как указано выше. В предпочтительном варианте источник кислорода, предназначенный для введения в линию 26 для сжигания частично восстановленного газа, предварительно нагревают до температуры в пределах от примерно 650 до примерно 950°С. В результате начального сгорания в линии 26 из сгоревшего метана образуются диоксид углерода и водяной пар, а последующая реакция реформинга с использованием дополнительного количества метана в газовой смеси является реакцией, катализируемой частицами восстановленного металла таким образом, что образуются монооксид углерода и водород, которые требуются в соответствии с настоящим изобретением.

На фиг. 2 в увеличенном масштабе показана часть реактора 10 с впускным отверстием 28 для газа с целью дополнительно пояснить преимущество настоящего изобретения. Как указано выше, порошкообразный материал, уносимый газами, проходящими из реактора в реактор, обычно создает серьезные проблемы из-за образованию отложений в точке засорения системы, которые обусловливают неэффективность процесса вследствие остановок, необходимых для очистки и т. п. В соответствии с настоящим изобретением было установлено, что при введении источника кислорода в линию 26, благодаря чему происходит частичное сжигание метана в частично отработанных восстановительных газах, начальный слой пыли восстановленного металла откладывается или накапливается на поверхностях, с которыми входят в контакт газ и уносимая пыль, прежде всего на огнеупорной внутренней поверхности 42 реактора 10, решетке 44 для газового потока и форсунках 46 для газового потока внутри нагнетательных или нижних зон реактора 10, как показано на чертеже. Далее в соответствии с настоящим изобретением было установлено, что реакция реформинга, катализируемая металлизированной железной пылью, уносимой газом, и отложениями металлизированной пыли на поверхностях 42, 44 и 46, является эндотермической реакцией, в ходе протекания которой расходуется тепло, выделяющееся при сгорании газов, в результате чего поверхности 42, 44 и 46, контактирующие с газами, охлаждаются, препятствуя тем самым дальнейшему образованию отложений таких частиц восстановленного металла. Таким образом, при осуществлении предлагаемого способа предусмотрены начальная стадия процесса, на которой на различных поверхностях реактора 10 образуется отложение необходимой части восстановленной металлической пыли, и вторая, более холодная стадия процесса, на которой эндотермическая реакция реформинга обусловливает пониженную температуру. Эта пониженная температура способствует, что является преимуществом, подавлению дальнейшего образования отложений, благодаря чему значительно ослабляется тенденция к засорению и повышается эффективность процесса.

В соответствии с настоящим изобретением реформинг газа начинается в линии 26 в присутствии уносимой восстановленной металлической пыли или частиц, которые служат в качестве катализатора для реакции реформинга. Более того, когда газ из линии 26 поступает в нагнетательные или нижние зоны реактора 10, этот газ также входит в контакт с

RU 2196834 C2

RU 2196834 C2

отложением восстановленной металлической пыли 48, которая характеризуется относительно большой удельной площадью поверхности, составляющей, в частности, от примерно 15 до примерно 80 $см^2/г$, и которая служит в качестве второй каталитической зоны или поверхности, дополнительно способствующей протеканию реакций реформинга газа.

В соответствии с изобретением частично отработанный восстановленный газ, отходящий из последнего реактора 12, как правило, может иметь следующий объемный состав: примерно 48-52% водорода, 6-10% монооксида углерода, 20-27% метана, 1,0-1,5% диоксида углерода, 10-12% водяного пара и остальное азот, его восстановительная способность (N_R, определяемая по описанной ниже методике) составляет от примерно 4,0 до примерно 5,6, а температура лежит в пределах от примерно 750 до примерно 790 °С.

Реформинг частично отработанного газа инициируют до подачи в реактор 10, и он продолжается при прохождении нижних зон реактора 10, вследствие чего подвергнутый реформингу газ в реакторе 10 контактирует с рудой после прохождения через решетку 44. Процесс реформинга начинают смешением источника кислорода с частично отработанным газом и уносимой восстановленной металлической пылью таким образом, чтобы на участке впускного отверстия (точка В) реактора 10 получить газообразный продукт сгорания, который характеризуется следующим объемным составом: примерно 40-46% водорода, 6-8% монооксида углерода, 17-20% метана, 3-6% диоксида углерода, 12-18% водяного пара и остальное азот, и температурой в пределах от примерно 780 до примерно 820°С.

Далее газообразные продукты сгорания, которые характеризуются приведенным выше составом, проходят из линии 26 во впускное отверстие 28 реактора 10 и, таким образом, входят в контакт с отложениями частиц восстановленной железной пыли 48 на поверхностях реактора, в частности на огнеупорной внутренней поверхности 42, решетке 44 для подачи потока газа и форсунках 46 для газового потока, и подвергаются дальнейшему реформингу, в результате чего по ходу движения ниже решетки 44, например в точке С, образуется подвергнутый реформингу восстановительный газ, который характеризуется следующим объемным составом: примерно 50-62% водорода, 12-20% монооксида углерода, 4-12% метана, 1-4% диоксида углерода и 8-10% водяного пара и остальное азот, восстановительной способностью (N_R, определяемой по описанной ниже методике) в пределах от примерно 4,4 до примерно 9,1 и температурой в пределах от примерно 780 до примерно 800 °С.

Затем восстановительный газ из точки С продолжает перемещаться по реактору 10, обеспечивая тем самым восстановление или металлизирование оксида, вводимого в реактор 10, что требуется в соответствии с настоящим изобретением.

Для дальнейшей иллюстрации преимуществ реформинга газа, осуществляемого в соответствии с настоящим изобретением, в таблице представлены предпочтительные составы газов, которые соответствуют точкам А, В и С, равно как и восстановительного газа, первоначально поступающего в реакторы.

Составы газов, представленные выше, являются типичными для газа в данной системе, например во впускном отверстии 22 реактора 12, для частично отработанного газа после прохождения через последний реактор 12, например в точке А на фиг.1, газообразного продукта сгорания после добавления кислорода, например в точке В на фиг.1, и для подвергнутого реформингу газа после промежуточной стадии реформинга по настоящему изобретению, например в точке С на фиг.1.

Как следует из приведенного выше описания, предлагаемый способ позволяет увеличить объем восстановительного газа примерно на 10-40 об.% в сравнении с объемом частично отработанного восстановительного газа, благодаря чему повышается восстановительная способность (N_R) газа, например от примерно 4,4 в точке А до примерно 6,2 в точке С.

Предпочтительно восстановительная способность (N_R) частично отработанного восстановительного газа составляет 4,5 и восстановительная способность подвергнутого реформингу восстановительного газа составляет 6,2, при этом восстановительную способность определяют следующим образом:

$$N_R=(H_2+CO)/(H_2O+CO_2),$$

где H_2, CO, H_2O и CO_2 обозначают процентное объемное содержание этих компонентов в частично отработанном восстановительном газе и подвергнутом реформингу восстановительном газе.

В соответствии с настоящим изобретением в предпочтительном варианте источник кислорода, такой как воздух, кислород и их смеси, предназначенный для введения в линию 26, вводят таким образом, чтобы добиться значения реформингового соотношения (CH_4/N_{ox}) в пределах от примерно 57 до примерно 72, в котором CH_4 обозначает объемное процентное содержание метана, а N_{ox}, обозначает степень окисления потока частично отработанного газа, которую определяют следующим образом:

$$N_{ox}=(CO_2+H_2O)/(CO+CO_2+H_2+H_2O),$$

где под CO, H_2, CO_2 и H_2O подразумевают процентное объемное содержание этих компонентов в газовой смеси. Значения N_{ox}, как правило, находятся в пределах от примерно 0,2 до примерно 0,3.

Более того, в предпочтительном варианте способ осуществляют при таких расходе потока и температуре, при которых количество металлизированной железной пыли, уносимой газом, отходящим через впускное отверстие 24 для газа реактора 12, составляет от примерно 5 до примерно 50 $г/м^3$, предпочтительно от примерно 10 до примерно 30 $г/м^3$.

Предпочтительно уносимые частицы пыли и частицы в отложениях 48 характеризуются следующим массовым составом: примерно 78-85% металлического железа, 0,1-0,6%

RU 2196834 C2

RU 2196834 C2

оксида кальция, 0,1-0,3% оксида магния, 0,9-2,5% диоксида кремния, 0,5-1,8% оксида алюминия и 12-20% оксида железа. Более того, удельная площадь поверхности частиц в отложениях предпочтительно составляет от примерно 3 до примерно 10 $см^2/г$.

Как сказано выше, предлагаемый способ включает первую стадию, при осуществлении которой на нужных участках образуются отложения пыли или частиц, в результате чего создаются каталитические поверхности, например на поверхностях 42, 44, и вторую, осуществляемую при пониженной температуре стадию, на которой отложения пыли или частиц уменьшаются. В этом отношении предпочтительная температура в реакторе ниже решетки 44, поверхностей 42, 44 при осуществлении первой стадии процесса составляет от примерно 780 до примерно 790°С, а предпочтительная температура при осуществлении второй стадии составляет от примерно 760 до примерно 770°С.

Более того, предлагаемый в изобретении способ позволяет повысить тепловой кпд процесса раскисления железа благодаря утилизации тепла частично отработанного газа, отводимого из реактора 12, за счет реакции реформинга газа и, таким образом, подавать в предыдущий реактор 10 более горячий газ, чем это было бы возможно при обычных обстоятельствах. В результате, что является преимуществом, реакторы 10, 12 работают при температурах, которые практически одинаковы, т.е. в предпочтительном варианте разница температур составляет менее или равной примерно 20°С.

Как указано выше, проблемы образования отложений при осуществлении известных способов оказываются наиболее острыми вблизи последнего или заключительного реактора, поскольку они возникают там, где частицы пыли характеризуются наивысшей степенью восстановления или металлизации. Преимущество же настоящего изобретения заключается в использовании этих частиц в качестве катализатора, что ограничивает образование чрезмерных их отложений.

Более того, предлагаемый способ позволяет в существенной мере устранить чрезмерное накопление метана или метанизацию между реакторами, т.е. проблему, с которой обычно приходится сталкиваться при осуществлении известных способов, благодаря тому, что часть метана между реакторами сжигают, а другую часть используют в реформинге при получении дополнительного количества восстановительного газа.

До достижения нормальных рабочих параметров процесса восстановления в предпочтительном варианте реакторы нагревают до технологической температуры, предпочтительно равной примерно 900°С. Проведение процесса при температуре, которая ниже этой, способствует, как было установлено, метанизации восстановительного газа, вследствие чего эффективность процесса снижается. Было также установлено, что предлагаемый способ обеспечивает, что является преимуществом, получение восстановительного газа во время предварительного нагрева реакторов до технологической температуры, обеспечивая, что также является преимуществом, предварительное восстановление железа на начальном этапе процесса. Пока реакторы нагревают до технологической температуры в соответствии с изобретением, в предпочтительном варианте через реакторы пропускают смесь инертного газа с метаном, и эта смесь уносит из реактора 12, как указано выше, пыль из железа и оксида железа. Вводимый между реакторами 12 и 10 кислород сжигает часть метана в смеси инертного газа/метана, выделяя дополнительное тепло, необходимое для конверсии оставшегося метана в восстановительный газ, включающий водород и монооксид углерода. Этот газ направляют в реактор 10, в котором во время нагрева или начального этапа работы системы завершается предварительное восстановление оксидов и одновременно с этим устраняется чрезмерная метанизация, которая происходит в обычных условиях на начальном этапе. В предпочтительном варианте процесс предварительного восстановления начинается, когда температура в реакторе, предпочтительно температура в предыдущем реакторе 10, достигает уровня примерно в 700 °С, и продолжается до достижения целевой технологической температуры.

В соответствии с фиг.1 способ предварительного восстановления по настоящему изобретению можно эффективно осуществлять направлением смеси инертного газа/метана во впускное отверстие 22 и подачей в линию 26 источника газообразного кислорода для смешения и частичного сжигания этой смеси инертного газа/метана с удалением из реактора 12 уносимой железной пыли. Достигаемая в результате повышенная температура в присутствии уносимой и образующей отложения железной пыли служит для реформинга с использованием оставшегося метана и получения восстановительного газа в предыдущем реакторе 10, благодаря чему в реакторе 10 происходит предварительное восстановление оксидов железа.

После того, как температура достигает технологического уровня, предпочтительно примерно 900°С, во впускное отверстие 13 можно, как указано выше, вводить дополнительное количество метана, а инертный газ можно постепенно удалять в необходимом количестве в смесь рециклового газа со свежеприготовленным газом, которую направляют во впускное отверстие 22 реактора 12. Предлагаемый в изобретении способ позволяет во время начального нагрева или в пусковой период, который, как правило, может длиться примерно от 1 до 3 ч, достичь положительного эффекта восстановления оксидов железа, который в иных условиях может оказаться недостижимым.

С учетом всего вышесказанного очевидно, что в изобретении предлагается способ, в котором процесс получения восстановительного газа проводят с повышенной эффективностью и с использованием менее дорогого оборудования и что, кроме того, в целом процесс восстановления железа с применением способа по изобретению проводят эффективным образом и с менее

RU 2196834 C2

RU 2196834 C2

серьезными проблемами, связанными с засорением и т.п. Более того, улучшения достигаются также во время предварительного нагрева или в пусковой период.

Необходимо отметить, что объем изобретения не ограничен конкретными вариантами его выполнения, которые представлены в настоящем описании и проиллюстрированы на чертежах. В эти варианты, которые являются предпочтительными, можно вносить различные модификации в отношении формы, размеров и компоновки частей и деталей технологической системы. Все такие модификации включены в объем изобретения, определяемый формулой изобретения.

Формула изобретения:

1. Способ реформинга восстановительного газа в процессе восстановления руды в псевдоожиженном слое, заключающийся в том, что руду пропускают через несколько реакторов псевдоожиженного слоя, включающих последний реактор и по меньшей мере один предыдущий реактор, через последний реактор пропускают восстановительный газ и восстанавливают в нем руду, из этого последнего реактора отводят поток частично отработанного восстановительного газа, включающего метан и металлизированную железную пыль, с частично отработанным восстановительным газом смешивают источник кислорода и сжигают часть метана в присутствии металлизированной железной пыли с получением подвергнутого реформингу восстановительного газа и подвергнутый реформингу восстановительный газ подают в предыдущий реактор.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что восстановительная способность (N_R) частично отработанного восстановительного газа составляет 4,5 и восстановительная способность подвергнутого реформингу восстановительного газа составляет 6,2, при этом восстановительную способность определяют следующим образом:

$N_R = (H_2+CO)/(H_2O+CO_2)$,

где H_2, CO, H_2O и CO_2 обозначают процентное объемное содержание этих компонентов в частично отработанном восстановительном газе и подвергнутом реформингу восстановительном газе.

3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что частично отработанный восстановительный газ, отходящий из последнего реактора, характеризуется следующим объемным составом: примерно 48-52% водорода, 6-10% монооксида углерода, 20-27% метана, 1,0-1,5% диоксида углерода, 10-12% водяного пара и остальное азот и температурой в пределах от примерно 750 до примерно 790 °С, а подвергнутый реформингу восстановительный газ характеризуется следующим объемным составом: примерно 50-62% водорода, 12-20% монооксида углерода, 4-12% метана, 1-4% диоксида углерода, 8-10% водяного пара и остальное азот и температурой в пределах от примерно 780 до примерно 800°С.

4. Способ по п. 3, отличающийся тем, что на стадии смешения получают смесь продуктов частичного сгорания, которая характеризуется следующим объемным составом: примерно 40-46% водорода, 6-8% монооксида углерода, 17-20% метана, 3-6% диоксида углерода, 12-18% водяного пара и остальное азот и температурой в пределах от примерно 780 до примерно 820°С.

5. Способ по п. 1, отличающийся тем, что частично отработанный восстановительный газ включает металлизированную железную пыль в количестве от примерно 5 до примерно 50 г/м^3.

6. Способ по п. 5, отличающийся тем, что металлизированная железная пыль содержит от примерно 78 до примерно 85 мас. % металлического железа.

7. Способ по п. 1, отличающийся тем, что последний реактор и предыдущий реактор сообщаются с помощью газовой линии для перемещения частично отработанного восстановительного газа и в эту газовую линию вводят источник кислорода для смешения с частично отработанным восстановительным газом.

8. Способ по п. 7, отличающийся тем, что источник кислорода выбирают из группы, включающей воздух, кислород и их смеси.

9. Способ по п. 1, отличающийся тем, что на стадии смешения получают смесь газообразных продуктов частичного сгорания, поступающую в предыдущий реактор, и в этом предыдущем реакторе имеются внутренние поверхности, с которыми контактирует смесь газообразных продуктов частичного сгорания, при этом способ включает далее стадии управления этим процессом таким образом, чтобы металлизированная железная пыль на этих поверхностях образовывала отложения, в результате чего на этих поверхностях образуются отложения металлизированной железной пыли, благодаря чему такие отложения металлизированной железной пыли действуют в качестве катализатора для конверсии смеси газообразных продуктов частичного сгорания в подвергнутый реформингу восстановительный газ.

10. Способ по п. 9, отличающийся тем, что отложения металлизированной железной пыли характеризуются следующим массовым составом: примерно 78-85% металлического железа, 0,1-0,6% оксида кальция, 0,1-0,3% оксида магния, 0,9-2,5% диоксида кремния, 0,5-1,8% оксида алюминия и 12-20% оксида железа.

11. Способ по п. 9, отличающийся тем, что отложения металлизированной железной пыли характеризуются удельной площадью поверхности в пределах от примерно 3 до примерно 10 см^2/г.

12. Способ по п. 9, отличающийся тем, что способ включает начальную стадию, при осуществлении которой предыдущий реактор работает при температуре в пределах от примерно 780 до примерно 790°С и на которой на упомянутых поверхностях образуются отложения металлизированной железной пыли, и последующую стадию, при осуществлении которой предыдущий реактор работает при температуре в пределах от примерно 760 до примерно 770°С и на которой подавляется дальнейшее образование отложений металлизированной железной пыли.

13. Способ по п. 1, отличающийся тем, что

RU 2196834 C2

RU 2196834 C2

стадия смешения включает смешение источника кислорода с частично отработанным восстановительным газом таким образом, чтобы получить смесь, которая характеризуется значением реформингового соотношения (CH_4/N_{ox}) в пределах от примерно 57 до 72, где CH_4 обозначает объемное процентное содержание метана, а значение N_{ox} определяют следующим образом:

$N_{ox}= (CO_2+H_2O)/(CO+CO_2+H_2+H_2O)$,

где CO, CO_2, H_2 и H_2O обозначают процентное объемное содержание этих компонентов в смеси.

14. Способ по п. 1, отличающийся тем, что последний реактор и предыдущий реактор работают при разнице температур менее или равной примерно 20°C.

15. Способ по п. 1, отличающийся тем, что стадию смешения осуществляют в условиях, выбранных таким образом, чтобы металлизированная железная пыль действовала в качестве катализатора реакции конверсии метана в частично отработанном восстановительном газе.

16. Способ по п. 1, отличающийся тем, что способ перед стадией смешения включает, кроме того, стадию введения в частично отработанный восстановительный газ дополнительного количества метана.

17. Способ по п. 1, отличающийся тем, что реакторы работают при технологической температуре и в котором далее предусмотрен процесс предварительного нагрева, в ходе проведения которого реакторы нагревают до этой технологической температуры, при этом (а) смесь инертного газа с метаном пропускают через последний реактор таким образом, чтобы в этом последнем реакторе она контактировала с рудой, вследствие чего из последнего реактора отводят поток газа, включающего инертный газ, метан и уносимую железную пыль, (б) с потоком газа смешивают источник кислорода и сжигают часть метана в присутствии железной пыли, в результате чего образуется восстановительный газ, включающий водород и монооксид углерода, и (в) в предыдущий реактор подают восстановительный газ таким образом, чтобы в этом предыдущем реакторе происходило предварительное восстановление руды.

18. Способ по п. 17, отличающийся тем, что далее стадии (а)-(в) осуществляют при температуре в предыдущем реакторе в пределах от примерно 700°C до технологической температуры.

19. Способ по п. 18, отличающийся тем, что технологическая температура составляет примерно 900°C.

20. Способ по п. 1, отличающийся тем, что восстановительная способность (N_R) частично отработанного восстановительного газа составляет от примерно 4,0 до примерно 5,6.

21. Способ по п. 1, отличающийся тем, что восстановительная способность (N_R) подвергнутого реформингу восстановительного газа составляет от примерно 4,4 до примерно 9,1.

22. Способ приготовления восстановительного газа во время предварительного нагрева до технологической температуры в ходе проведения процесса восстановления руды в псевдоожиженном слое в ряде восстанавливающих руду реакторов, заключающийся в том, что (а) смесь инертного газа с метаном пропускают через последний реактор таким образом, чтобы в этом последнем реакторе она контактировала с рудой, вследствие чего из последнего реактора отводят поток газа, включающего инертный газ, метан и уносимую железную пыль, (б) с потоком газа смешивают источник кислорода таким образом, чтобы источник кислорода сжигал часть метана в присутствии железной пыли, в результате чего образуется восстановительный газ, включающий водород и монооксид углерода, и (в) в предыдущий реактор подают восстановительный газ таким образом, чтобы в этом предыдущем реакторе происходило предварительное восстановление руды.

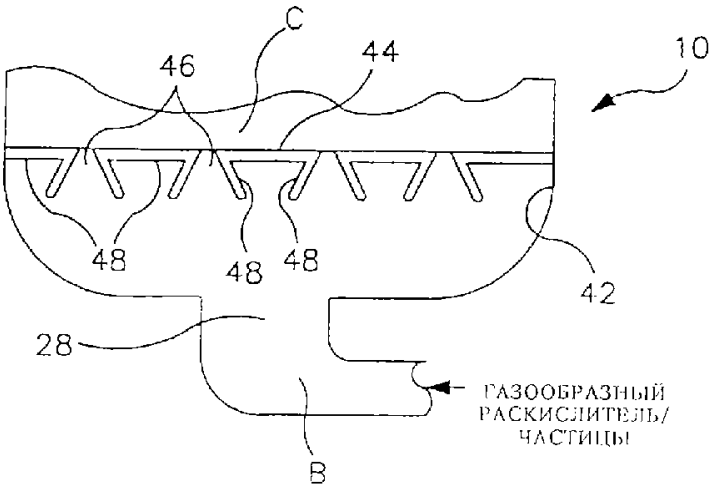
23. Способ по п. 22, отличающийся тем, что далее включает осуществление стадий (а)-(в), когда температура в предыдущем реакторе находится в пределах от примерно 700°C до технологической температуры.

24. Способ по п. 23, отличающийся тем, что технологическая температура составляет примерно 900°C.

RU 2196834 C2

RU 2196834 C2

Состав, об.%	На входе	A	B	C
H_2	60-65	48-52	40-46	50-62
CO	4-6	6-10	6-8	12-20
CH_4	18-24	20-27	17-20	4-12
CO_2	2-4	1,0-1,5	3-6	1-4
H_2O	1,0-1,8	10-12	12-18	8-10
N_2	остальное	остальное	остальное	остальное
Температура (°C)	830-850	750-790	780-820	780-800



Фиг. 2

RU 2196834 C2

RU 2196834 C2