

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202492073

(13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2024.11.15

(51) Int. Cl. C21B 7/00 (2006.01)
C21B 5/00 (2006.01)
C21B 5/06 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2023.03.08

(54) ПРОИЗВОДСТВО ГОРЯЧЕГО МЕТАЛЛА ИЗ DRI С ПОМОЩЬЮ
ЭЛЕКТРОДУГОВОГО НАГРЕВАНИЯ

(31) 63/318,935; 18/118,355

(32) 2022.03.11; 2023.03.07

(33) US

(86) PCT/US2023/014776

(87) WO 2023/172597 2023.09.14

(88) 2023.11.02

(71) Заявитель:

МИДРЭКС ТЕКНОЛОДЖИЗ, ИНК.
(US); КАБУСИКИ КАЙСА КОБЕ
СЕЙКО СО (КОБЕ СТИЛ, ЛТД.) (JP)

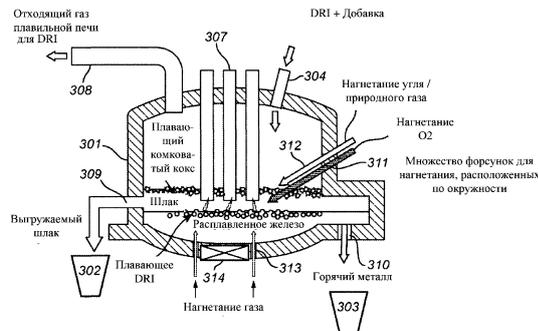
(72) Изобретатель:

Митсита Харуясу (US), Токуда Кодзи,
Мимура Цуёси, Фудзивара Кацума
(JP)

(74) Представитель:

Кузнецова С.А. (RU)

(57) Согласно вариантам осуществления раскрыты способ и система для поддержания характеристик мягкого и разреженного шлака, благоприятных для эффективной передачи электрической дугой энергии в расплавленное железо с подводимой мощностью на площадь печи выше чем 600 кВт/м², с поддержанием при этом количества FeO меньше чем 5% в шлаке и количества углерода выше чем 2,5% в представляющем собой продукт горячем металле в плавильной печи для DRI.



A1

202492073

202492073

A1

ПРОИЗВОДСТВО ГОРЯЧЕГО МЕТАЛЛА ИЗ DRI С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОДУГОВОГО НАГРЕВАНИЯ

ПЕРЕКРЕСТНАЯ ССЫЛКА НА РОДСТВЕННУЮ ЗАЯВКУ

[0001] Настоящая заявка на патент, не являющаяся предварительной, заявляет преимущество приоритета предварительной заявки на патент США № 63/318935, поданной 11 марта 2022 г. под названием «Hot Metal Production from DRI with Electric Arc Heating», содержание которой полностью включено в данный документ посредством ссылки.

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

[0002] Настоящее раскрытие в целом относится к области железа прямого восстановления (DRI) и области производства стали, где под DRI обычно понимается железо холодного прямого восстановления (CDRI), железо горячего прямого восстановления (HDRI) и горячебрикетированное железо (HBI). Более конкретно, настоящее раскрытие относится к способу и системе для производства горячего металла из DRI с помощью электродугового нагрева, например, с помощью электродуговой печи (EAF), с поддержанием при этом высоких общих энергетической эффективности и производительности.

ПРЕДПОСЫЛКИ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0003] Технологический маршрут доменная печь (BF) – основная сталеплавильная печь (BOF) является наиболее распространенным в мире способом производства нерафинированной стали, но является основным источником выбросов CO₂. Сталеплавильное производство с помощью электродуговой печи (EAF) с использованием металлолома является перспективной альтернативой процессу BF-BOF из-за более низкой интенсивности выбросов CO₂. Однако высококачественный стальной продукт, эквивалентный тому, что обычно называют продуктом сорта BF, ограничивает количество примеси, такой как медь, получаемой из металлолома. Для того, чтобы EAF соответствовала требованиям качества, в металлолом в сырье для EAF

обычно добавляют единицы чистого железа, такие как DRI и/или чугун в чушках, чтобы разбавить количество посторонних веществ, или может быть основное сырье для EAF с небольшим добавлением металлолома.

[0004] В случае высокосортного DRI, полученного из высококачественной железной руды, называемой железной рудой сорта DR, как правило, имеющей содержание железа больше 67%, DRI может подаваться в EAF для производства жидкой стали. Этот процесс реализуют на практике чаще всего, но истощение железной руды сорта DR является проблемой в долгосрочной перспективе и в особенности может стать серьезной проблемой по мере того, как все больше производств переходят от BF-BOF к EAF для снижения выбросов CO₂. Однако в случае DRI низкого сорта, полученного из низкокачественной железной руды, содержащей больше кислотной пустой породы, подаваемой в EAF для производства жидкой стали, эксплуатационные и капитальные затраты при плавлении DRI будут выше. Большее количество кислотной пустой породы требует добавления большего количества флюса в EAF, что увеличивает объем шлака, потерю железа как FeO в шлаке и потребление электричества. Большее количество шлака и потребление электричества может привести к более низкой производительности и более крупному оборудованию для поддержания плавильной мощности.

[0005] Низкокачественная железная руда, которая, как правило, имеет содержание железа меньше 65%, применяется в двухэтапном процессе BF-BOF, поскольку горячий металл производится с удалением шлака на среднем этапе и поддержанием более высокого выхода железа. Подобно процессу BF-BOF, двухэтапный процесс может быть применен для традиционного электрического плавильного аппарата, такого как EAF и SAF (печь с погруженной дугой), чтобы производить горячий металл и после этого обезуглероживать горячий металл при производстве жидкой стали с применением DRI низкого сорта. Однако эти электрические плавильные аппараты имеют указанные ниже недостатки при производстве горячего металла.

[0006] SAF расплавляет DRI, используя механизм джоулевого нагрева толстого слоя шлака, но входная удельная мощность для SAF (меньше чем 300 кВт/м²) ниже, чем для традиционной EAF (выше чем 2000 кВт/м²). Соответственно, производительность у SAF ниже, чем у EAF, даже при применении крупной SAF. Более низкая производительность приводит к тому, что требуются большее количество

агрегатов плавильной печи или плавильные печи большого размера. Несколько агрегатов большой SAF трудно разместить под шахтной печью, чтобы подавать горячее DRI непосредственно в электрические плавильные аппараты через спускной желоб под действием силы тяжести. Большая занимаемая площадь печей SAF требует длинных транспортных конвейеров для горячего DRI из шахтной печи в печи SAF, что вызывает дополнительное падение температуры и качества у горячего DRI, а также более высокие капиталовложения.

[0007] EAF, в которой применяется механизм дугового нагрева, как правило, требует меньше площади печи и делает электроплавильную печь значительно компактней по сравнению с SAF. Однако существует проблема, которая заключается в том, как достичь более высокой удельной мощности без пенистого шлака, который обычно образуется при производстве жидкой стали, но который сложно получить при производстве горячего металла. Более плотный и тонкий шлак значительно бы уменьшил энергетическую эффективность вследствие 1) недостаточного покрытия электрической дуги тонким шлаком и 2) преграждения или отражения электрической дуги плотным шлаком. Это предотвращает эффективный перенос электрической дуги в расплавленное железо под шлаком, увеличивает тепловую нагрузку или может привести к повреждению каркаса электроплавильной печи.

[0008] Кроме того, отсутствует механизм улучшения перемешивания или взбалтывания расплавленного железа для достижения высокой эффективности науглероживания в традиционной EAF или SAF. Это является недостатком EAF меньшего размера, которая имеет гораздо более короткое время пребывания по сравнению с SAF и BF. Это приводит к более низкому выходу углерода в DRI и требует больше внешних углеродистых добавок, таких как коксовая мелочь. Не вступивший в реакцию углерод, плавающий на расплавленном железе, будет захвачен в шлаке и или окисляться окислителем в атмосфере печи, или выгружаться из электроплавильной печи со шлаком. Для того чтобы справиться с низким выходом углерода, требуется предоставлять больше дополнительных углеродистых добавок, что увеличивает эксплуатационные расходы.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0009] Поэтому, для того чтобы применять плавильную печь для DRI, относящуюся к типу EAF, которая желательна является меньшей по размеру, чем, например SAF, при производстве горячего металла, например, с использованием DRI более низкого сорта, необходимо разработать способ и систему для работы по расплавлению, которые устраняют недостатки, упомянутые выше: характеристики непенистого более плотного и тонкого шлака и плохие свойства перемешивания углеродного материала, диспергированного в горячем металле и шлаке, без увеличения количества FeO в шлаке и с поддержанием содержания углерода в горячем металле. Варианты осуществления настоящего раскрытия устраняют вышеуказанные и другие проблемы.

[0010] Иллюстративные варианты осуществления настоящего изобретения раскрывают способ и систему для производства горячего металла с использованием DRI, обеспечивающие улучшенную обработку и устраняющие недостатки, указанные выше. Преимущественно общая выгода заключается в расплавлении DRI, полученного из более широкого спектра железных руд, особенно низкокачественных железных руд, имеющих более высокое содержание кислотных пустых пород, чем железная руда сорта DR, с сохранением при этом высокой общей энергетической эффективности, выхода материала и производительности.

[0011] Таким образом, для выполнения первого этапа расплавления DRI для производства горячего металла с более низкими эксплуатационными расходами и более высокой производительностью с использованием меньшей плавильной печи для DRI, следующие цели и преимущества достигаются посредством вариантов осуществления настоящего изобретения: 1) достижение более высокой входной удельной мощности при передаче электроэнергии в расплавленное железо под шлаком без пенистого шлака; и 2) улучшение перемешивания или взбалтывания расплавленного железа и шлака для достижения высокой эффективности науглероживания в плавильной печи для DRI.

[0012] В иллюстративном варианте осуществления настоящее изобретение раскрывает способ поддержания характеристик мягкого и разреженного шлака, благоприятных для эффективной передачи электродуговой печью энергии в расплавленное железо с подводимой мощностью на площадь печи выше чем 600 кВт/м², с поддержанием при

этом количества FeO меньше чем 5 вес. % в шлаке и количества углерода выше чем 2,5 вес. % в представляющем собой продукт горячем металле в плавильной печи для железа прямого восстановления (DRI), включающий: предоставление электрической плавильной печи для DRI в виде электродуговой печи и содержание множества электродов для электродугового нагревания; загрузку DRI в плавильную печь для DRI через желоб; загрузку комковатого углеродистого материала, подаваемого вместе с DRI; формирование слоя шлака, содержащего шлак, и формирование слоя расплавленного железа под слоем шлака; предоставление по меньшей мере одной форсунки для нагнетания кислорода для нагнетания кислорода; нагнетание кислорода в слой шлака без проникновения через шлак или достижения расплавленного железа из по меньшей мере одной форсунки для нагнетания кислорода; регулирование скорости потока кислорода для стабилизации флуктуации тока для каждого электрода; выгрузку шлака через шлаковую дверцу или летку для шлака, расположенную на промежуточном уровне высоты боковой стенки плавильной печи для DRI; и выгрузку представляющего собой продукт горячего металла через летку, расположенную на дне или в нижней части плавильной печи для DRI; при этом способ поддерживает характеристики мягкого и разреженного шлака, благоприятные для эффективной передачи электродуговой печью энергии в расплавленное железо с подводимой мощностью на площадь печи выше чем 600 кВт/м², с поддержанием при этом количества FeO меньше чем 5 вес. % в шлаке и количества углерода выше чем 2,5 вес. % в представляющем собой продукт горячем металле в плавильной печи для DRI. Способ может включать предоставление множества форсунок для нагнетания, расположенных по окружности по печи, и при этом кислород нагнетают с дозвуковой скоростью газа в направлении к электродам из форсунок для нагнетания. Скоростью потока кислорода можно управлять для поддержания уровня шума ниже 90 дБ в плавильной печи для DRI. Количество комковатого углеродистого материала может составлять более чем 30 кг углерода, остающегося в шлаке на 1 тонну расплавленного железа. Пылевидный углеродистый материал или природный газ можно нагнетать в шлак вместе с кислородом. Количество углерода или природного газа может быть равно или более чем стехиометрическое количество кислорода в реакции горения, образующей CO₂. Уровень высоты верхней части шлака поддерживают выше уровня высоты летки для шлака или нижнего края шлаковой дверцы во время выгрузки шлака, чтобы предотвращать выгрузку углеродистого материала, плавающего в жидком шлаке, со шлаком из плавильной печи для DRI. Горючий газ, такой как природный газ,

восстановительный газ или инертный газ, такой как азот, могут нагнетать для взбалтывания расплавленного железа, чтобы улучшать перемешивание и заменять некоторую часть углеродистого материала, подаваемого вместе с DRI, для эффективного науглероживания расплавленного железа. Расплавленное железо могут взбалтывать электромагнитной мешалкой во время производства горячего металла. DRI может быть получено из железной руды, имеющей содержание железа меньше 65 вес. %.

[0013] В другом иллюстративном варианте осуществления настоящее изобретение раскрывает способ производства представляющего собой продукт горячего металла из DRI с использованием электродугового нагрева, включающий: загрузку DRI вместе с комковатым углеродистым материалом в электрическую плавильную печь для DRI через по меньшей мере один желоб; формирование слоя шлака, содержащего шлак, и формирование слоя расплавленного железа под слоем шлака; нагнетание кислорода в слой шлака без проникновения через шлак или достижения расплавленного железа из множества форсунок для нагнетания, расположенных по окружности; выгрузку шлака через шлаковую дверцу или летку для шлака, расположенную на промежуточном уровне высоты боковой стенки печи; и выгрузку представляющего собой продукт горячего металла через летку, расположенную на дне или в нижней части плавильной печи для DRI; при этом способ дополнительно включает поддержание характеристик мягкого и разреженного шлака, благоприятных для эффективной передачи электрической дугой энергии в расплавленное железо с подводимой мощностью на площадь печи выше чем 600 кВт/м², с поддержанием при этом количества FeO меньше чем 5 вес. % в шлаке и количества углерода выше чем 2,5 вес. % в представляющем собой продукт горячем металле в плавильной печи для DRI.

[0014] В другом иллюстративном варианте осуществления настоящее изобретение раскрывает систему, выполненную с возможностью поддержания характеристик мягкого и разреженного шлака, благоприятных для эффективной передачи электродуговой печью энергии в расплавленное железо с подводимой мощностью на площадь печи выше чем 600 кВт/м², с поддержанием при этом количества FeO меньше чем 5 вес. % в шлаке и количества углерода выше чем 2,5 вес. % в представляющем собой продукт горячем металле в плавильной печи для железа прямого восстановления (DRI). Система содержит: электрическую плавильную печь для DRI в виде

электродуговой печи и содержит множество электродов для электродугового нагрева; желоб, выполненный с возможностью загрузки через него DRI вместе с комковатым углеродистым материалом в плавильную печь для DRI через желоб; при этом система выполнена с возможностью формирования слоя шлака, содержащего шлак, и слоя расплавленного железа под слоем шлака; по меньшей мере одну форсунку для нагнетания кислорода, выполненную с возможностью нагнетания кислорода в слой шлака без проникновения через шлак или достижения расплавленного железа из по меньшей мере одной форсунки для нагнетания кислорода; регулятор кислорода, выполненный с возможностью регулирования скорости потока кислорода для стабилизации флуктуации тока для каждого электрода; шлаковую дверцу или летку для шлака, расположенную на промежуточном уровне высоты боковой стенки плавильной печи для DRI, выполненную с возможностью выгрузки шлака; и летку, расположенную на дне или в нижней части плавильной печи для DRI, выполненную с возможностью выпуска представляющего собой продукт горячего металла. Система выполнена с возможностью поддержания характеристик мягкого и разреженного шлака, благоприятных для эффективной передачи энергии электродуговой печью в расплавленное железо с мощностью на входе на площадь печи выше чем 600 кВт/м^2 , в то же время поддерживая количество FeO меньше чем 5 вес. % в шлаке и количество углерода выше чем 2,5 вес. % в представляющем собой продукт горячем металле в плавильной печи для DRI. Система может содержать множество форсунок для нагнетания, расположенных по окружности по печи, и при этом кислород предназначен для нагнетания с дозвуковой скоростью газа в направлении к каждому электроду из форсунок для нагнетания. Количество комковатого углеродистого материала может составлять более чем 30 кг углерода, остающегося в шлаке на 1 тонну расплавленного железа. Пылевидный углеродистый материал или природный газ могут быть предназначены для нагнетания в шлаке вместе с кислородом. Количество углерода или природного газа может быть равно или более чем стехиометрическое количество кислорода в реакции горения, образующей CO_2 . Уровень высоты верхней части шлака могут поддерживать выше уровня высоты летки для шлака или нижнего края шлаковой дверцы во время выгрузки шлака, чтобы предотвращать выгрузку углеродистого материала, плавающего в жидком шлаке, со шлаком из плавильной печи для DRI. Горючий газ, такой как природный газ, восстановительный газ или инертный газ, такой как азот, могут быть предназначены для нагнетания для взбалтывания расплавленного железа, чтобы улучшать перемешивание и заменять некоторую часть углеродистого

материала, подаваемого вместе с DRI, для эффективного науглероживания расплавленного железа. Система может дополнительно содержать электромагнитную мешалку, выполненную с возможностью взбалтывания расплавленного железа. DRI может быть получено из железной руды, имеющей содержание железа меньше 65 вес. %.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

[0015] Настоящее раскрытие проиллюстрировано и описано со ссылкой на различные графические материалы, на которых подобные номера использованы для обозначения подобных этапов способа / компонентов системы / компонентов устройства в соответствующих случаях и на которых:

[0016] на фиг. 1 представлена схема, иллюстрирующая конфигурацию агрегата для прямого получения железа, объединенного с традиционной EAF для плавления DRI при производстве жидкой стали; и

[0017] на фиг. 2 представлена схема, иллюстрирующую работу на традиционной EAF для плавления DRI при производстве жидкой стали; и

[0018] на фиг. 3 представлена схема, иллюстрирующая один иллюстративный вариант осуществления процесса плавления DRI и системы согласно настоящему раскрытию при производстве горячего металла.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0019] При плавлении DRI низкого сорта, полученного из низкокачественной железной руды, содержащей больше кислотной пустой породы, например, на интегрированных сталелитейных заводах, где применяется традиционный процесс BF-BOF, преимущественным является применение двухэтапного процесса; сначала производят горячий металл после плавления DRI и удаления шлака, а во вторую очередь выполняют обезуглероживание горячего металла для производства жидкой стали в отдельной плавильной печи дальше по технологическому циклу. Первый этап плавления DRI может быть подобен тому, что осуществляется в обычной доменной печи (BF); т. е. производство горячего металла из железной руды низшего сорта в восстановительной атмосфере для поддержания содержания FeO меньше 1% в шлаке и основности шлака приблизительно от 1,0 до 1,3. Горячий металл, имеющий высокое

содержание углерода (как правило, больше 4%) позволяет BF увеличить выдачу железа и понизить потребление энергии, поскольку более высокое содержание углерода понижает температуру плавления горячего металла и уменьшает содержание FeO% в меньшем количестве шлака с более низкой основностью шлака.

[0020] Следует отметить, что в патенте США № 4661150 раскрыт способ плавления высоко металлизированного горячего DRI при производстве горячего металла с помощью электроплавильной печи, SAF, где электрод погружен в слой шлака, с использованием механизма теплопередачи посредством резистивного тепла шлака. Однако тепловой КПД или входная удельная мощность являются низкими вследствие опосредованной теплопередачи от электрода к металлу посредством низковольтного джоулевого нагревания шлака. В целом входная удельная мощность для SAF составляет менее чем 300 кВт/м² с низковольтным джоулевым нагреванием шлака, тогда как для традиционной EAF она составляет выше чем 2000 кВт/м² с прямой теплопередачей от электрода к металлу посредством высоковольтной электрической дуги. Соответственно, производительность является более низкой, и большее количество агрегатов плавильной печи требуется при SAF, чем при EAF, даже несмотря на то, что применяется SAF наибольшего размера со многими электродами. Затруднительно развернуть несколько агрегатов большой SAF под шахтной печью, чтобы горячий DRI из шахтной печи мог прямо подаваться в плавильную печь DRI через спускной желоб, в отличие от случая традиционной EAF для производства жидкой стали. Большая занимаемая площадь для нескольких более крупных SAF требует нескольких длинных транспортных конвейеров для горячего DRI из шахтной печи в печи SAF, что вызывает падение температуры и качества у горячего DRI (металлизация/углеродное ухудшение из-за повторного окислирования DRI), а также более высокие капиталовложения для транспортных конвейеров.

[0021] Дополнительно следует отметить, что EAF является более компактной вследствие более высокой входной удельной мощности, а также ее легче развернуть вблизи агрегата для прямого получения железа. Однако традиционная EAF, производящая жидкую сталь с использованием металлолома или высокосортного DRI, содержащего меньше кислотной пустой породы, не может быть просто применена для производства горячего металла с использованием DRI низкого сорта. EAF достигает более высокой удельной мощности с помощью пенистого шлака, который является

достаточно разреженным, чтобы электрическая дуга проникала через шлак, но достаточно сильно расширенным, чтобы покрывать электрическую дугу, предотвращая разбрызгивание. Шлак EAF обладает характеристиками, благоприятными для производства пенистой консистенции с FeO% больше 20% и основностью, равной 1,8 ~ 2,0 при высокой температуре больше 1600 °C, что делает возможным производство пенистого шлака с использованием нагнетания кислорода и пылевидного угля. Однако при производстве горячего металла с использованием DRI низкого сорта шлак имеет другие характеристики при более низкой температуре 1450~1550 °C с более низкими содержанием FeO% (меньше 5%) и основностью (1.0 ~ 1.5), что неблагоприятно для того, чтобы делать его пенистым. Кислород не нагнетается для поддержания FeO меньше 5% в шлаке и содержания углерода равным 2,5~4,5 % в горячем металле. Тогда непенистый шлак при более низкой температуре является слишком тяжелым и плотным для проникновения через него электрической дуги. Электрическая дуга будет отражаться шлаком и ударять в каркас печи или с перерывами заслоняться шлаком с получением нестабильного образования дуги, что понижает энергетическую эффективность и иногда приводит к повреждению огнеупорной футеровки печи.

[0022] Кроме того, еще одним недостатком, устраняемым вариантами осуществления, описанными в данном документе, является плохая эффективность науглероживания горячего металла при производстве горячего металла с помощью EAF. Углерод в DRI, как правило, с содержанием C равным 1~3%, необходимо возмещать для достижения количества углерода больше 2,5% в горячем металле, поскольку 1~1,5% углерода в DRI потребляется для восстановления остающегося FeO в DRI, для которого металлизация DRI обычно составляет 93~96%. Железо в DRI должно науглероживаться во время процесса плавления с помощью углерода в DRI и добавляемого извне углеродистого материала, такого как коксовая мелочь, в плавильном аппарате DRI. В особенности трудно добиться хорошей эффективности науглероживания с помощью добавляемого извне углерода в EAF меньшего размера, время нахождения в которой короче по сравнению с BF и SAF. Это приводит к более низкому выходу добавляемого извне углеродистого материала или к потребности добавления большего количества углерода. Не существует механизма улучшить перемешивание или взбалтывание расплавленного железа и шлака для достижения высокой эффективности науглероживания в течение более короткого времени нахождения в EAF. Функциональное улучшение традиционной EAF для производства низкоуглеродистой

жидкой стали реализуется за счет более высокой мощности плавления DRI, а не реакции науглероживания.

[0023] В публикации заявки на патент США № US2018/0274047 раскрыт способ производства чугуна в чушках для расплавления DRI с помощью EAF под воздействием положительного внутреннего давления, создаваемого газами, производимыми посредством реакции восстановления, происходящей в EAF. Кроме того, в публикации заявки на патент США № US2021/0301359 раскрыт способ производства горячего металла с помощью EAF, с реализацией положительного давления или восстановительной атмосферы посредством введения восстановительного газа из шахтной печи. Эти публикации касались того, как поддерживать восстановительную атмосферу во время плавления DRI с помощью EAF, но не указанных выше проблем; как добиться высокой входной удельной мощности, пенного шлака и более высокой эффективности науглероживания с помощью добавляемого извне углеродистого материала при производстве горячего металла в EAF.

[0024] В целом, в установке DR железная руда восстанавливается для производства DRI с использованием природного газа в качестве источника восстановителя, причем кислород удаляется из оксида железа, но пустая порода остается в полученном DRI.

[0025] Со ссылкой далее на фиг. 1, на фиг. 1 показана иллюстративная технологическая карта/схема для комбинации агрегата для прямого получения железа и EAF. Высококачественную железную руду 90, называемую железной рудой сорта DR, как правило, имеющую содержание железа больше 67%, подают в шахтную печь 100. Восстановительный газ, подаваемый из установки риформинга 80, которая производит риформинг CO₂ и H₂O в рециркулирующем газе из шахтной печи 100 с использованием природного газа, восстанавливает железную руду для производства горячего высокосортного DRI 70, выгружаемого снизу шахтной печи 100. Горячее DRI 70 передают из шахтной печи 100 в EAF 1, расположенную ниже, под действием силы тяжести, через ветвь 101 питания, барабанный питатель 102 и загрузочный желоб 4 EAF, так что EAF 1 может получать горячее DRI 70 и расплав для производства жидкой стали эффективным способом. Скорость подачи DRI регулируют посредством барабанного питателя 102 так, чтобы она соответствовала плавильной потребности или мощности EAF 1 и поддерживала слой упакованного материала в ветви 101 питания

для формирования уплотнения из материала с целью изоляции EAF 1 от находящейся под давлением шахтной печи. N₂ или другой инертный газ также могут нагнетать в ветвь 101 питания, чтобы помогать обеспечивать динамическое уплотнение. Контролируемое количество добавок, таких как дополнительное холодное DRI и/или основной флюс, также могут добавлять через отдельный загрузочный бункер для добавок с помощью системы 103 подачи в загрузочный желоб 4 EAF 1 согласно потребностям скорости подачи холодного DRI и скорости подачи флюса, чтобы контролировать химические свойства шлака. Регулируемое количество горячего DRI вместе с дополнительными добавками подают в EAF 1 через загрузочный желоб 4 EAF.

[0026] С дополнительной ссылкой на фиг. 1, в EAF 1 горячее DRI 70 расплавляется, и жидкая сталь выпускается в ковш 3 для жидкой стали, а шлак – в шлаковую чашу 2. Представляющую собой продукт жидкую сталь из ковша 3 для жидкой стали передают в происходящий ниже по технологическому потоку процесс, такой как система очистки стали (SRS) или установка для непрерывного литья (CC) 60. Отходящий газ из EAF 1 обрабатывают с помощью системы обработки отходящего газа, содержащей рукавный фильтр или скруббер 5, за которым следует ID вентилятор 6, для выпуска в окружающую среду.

[0027] Со ссылкой далее на фиг. 2, на фиг. 2 показаны подробные условия работы при использовании традиционной EAF, также содержащейся на фиг. 1. DRI и добавки подают в EAF 1 через загрузочный желоб 4 EAF. Представляющую собой продукт жидкую сталь (представляющее собой продукт жидкое железо, имеющее низкое содержание углерода, обычно ниже чем 1%) выпускают через летку 10 для металла, расположенную в нижней части EAF 1. Шлак выгружают или через шлаковую дверцу, или через летку 9 для шлака, расположенные на боковой стенке EAF 1. Электроэнергию передают с электродов 7 в расплавленное железо (полуфабрикат жидкого железа, полученный из жидкой стали из расплавленного DRI) в форме электрической дуговой струи. Отходящий газ из EAF 1 выпускают через вытяжной канал 8 EAF и перемещают в систему обработки отходящего газа. Кислород нагнетают через трубку 11 для введения кислорода так, чтобы он проникал через шлак и достигал ванны расплавленного железа, чтобы окислять железо для получения FeO. Это обеспечивает два основных преимущества: одно заключается в дополнительной тепловой энергии в окислении железа, а другое заключается в получении пенистого

шлака. Углеродистый материал, такой как пылевидный уголь, одновременно нагнетаемый через трубку для нагнетания углерода, будет реагировать или с нагнетаемым кислородом, или с окисленным железом (FeO), формируя газ CO. Общеизвестно и реализуется на практике то, что шлак, имеющий количество FeO приблизительно 20%, является благоприятным для получения пенистого шлака, поскольку FeO уменьшает поверхностное натяжение расплавленного железа и позволяет шлаку удерживать маленькие пузырьки CO. Этот пенистый шлак расширяет объем шлака в достаточно большом объеме для того, чтобы покрывать электрическую дугу, предотвращая испускание электрической дугой теплового излучения наружу из шлака. Шлак, содержащий пузырьки CO, является достаточно разреженным, чтобы электрическая дуга проникала в шлак и передавалась на расплавленное железо.

[0028] Однако традиционная практика работы с пенистым шлаком не может быть применена при производстве горячего металла с использованием DRI, поскольку низкое содержание в шлаке FeO меньше 5%, предпочтительно FeO меньше 3%, следует поддерживать при производстве горячего металла, содержащего углерод в количестве больше 2,5%. Это становится еще большим недостатком в случае применения DRI низкого сорта, содержащего больше кислотных пустых пород, поскольку слой шлака становится более толстым и плотным. Электрической дуге более сложно проникать в шлак вследствие отражения твердым шлаком. Поэтому традиционные рабочие условия EAF не могут быть применены для производства горячего металла, и в особенности с использованием DRI низкого сорта.

[0029] Со ссылкой далее на фиг. 3, на фиг. 3 показан один иллюстративный вариант осуществления процесса и системы для плавления DRI согласно настоящему раскрытию при производстве горячего металла (представляющее собой продукт жидкое железо, имеющее более высокое содержание углерода, обычно выше 2,5%) с помощью плавильной печи 301 для DRI с использованием механизма теплопередачи электрической дугой. Контролируемое количество DRI и добавок, а также комковатого углеродистого материала, подают в плавильную печь 301 для DRI через загрузочный желоб 304 плавильной печи 301 для DRI. Представляющий собой продукт горячий металл выпускают в ковш 303 для горячего металла через летку или порт 310 для металла, расположенные внизу или в нижней части плавильной печи 301 для DRI. Шлак выгружают в шлаковую чашу 320 или через шлаковую дверцу, или через летку

или порт 309 для шлака, расположенные на промежуточном уровне высоты боковой стенки плавильной печи 301 для DRI. Электроэнергию передают с электродов 307 в расплавленное железо (полуфабрикат жидкого железа, полученный из расплавленного DRI) в форме электрической дуговой струи. Отходящий газ из плавильной печи 301 для DRI выпускают через вытяжной канал 308 плавильной печи для DRI и перемещают в систему обработки отходящего газа.

[0030] Было обнаружено, что меньшее количество кислорода, нагнетаемого в слой шлака через форсунку 311 для нагнетания кислорода, но не проникающего через шлак и не достигающего расплавленного железа, позволяет электрической дуге эффективно передавать энергию в материал железа, чтобы расплавлять DRI с подводимой мощностью на площадь печи выше чем 600 кВт/м². Основной целью нагнетания кислорода является то, чтобы не использовать тепловую энергию окисления расплавленного железа или не генерировать большое количество FeO, а поддерживать характеристики шлака, благоприятные для эффективной передачи энергии электрической дугой в материал, подлежащий расплавлению, в комбинации с подачей углеродистого материала, такого как комковатый углеродистый материал, такой как кокс или уголь. Углеродистый материал, подаваемый вместе с DRI, захватывается в шлаке, реагируя с нагнетаемым кислородом для генерирования газа CO в шлаке. Экзотермическая теплота с генерированием CO будет увеличивать температуру шлака, в результате чего шлак расширяется и размягчается (например, до нетвердой консистенции). В дополнение, газ CO делает шлак разреженным (например, рассеянным) и поддерживает низкое содержание FeO в шлаке на уровне менее чем 5%. Образовавшийся CO из шлака будет покрывать расплавленное железо, поддерживая низкое содержание FeO в шлаке даже если корпус электрода, дверца для выгрузки шлака или соединение крыши плавильной печи 301 для DRI не имеют хорошего уплотнения и некоторые окислители просачиваются в плавильную печь 301 для DRI. Чтобы добиться вышеуказанного, комковатый углеродистый материал подают вместе с DRI, предпочтительно поддерживая более чем 30 кг углерода, который остается в шлаке на 1 тонну расплавленного железа.

[0031] При производстве горячего металла без пенистого шлака в плавильной печи 301 для DRI, шлак обычно остается плотным и тонким. Тогда электрическая дуга будет отражаться плотным шлаком и излучаться в атмосферу с меньшим покрытием более

тонкого шлака, приводя к потере большого количества электроэнергии через излучение вместо передачи энергии в расплавленное железо через шлак. Увеличение уровня шума и флуктуирующий электрический ток могут указывать на нестабильную работу плавильной печи для DRI с потерей энергии электрической дуги, излучаемой в атмосферу или каркас печи. Увеличение температуры также иногда наблюдается для охлаждающей воды, возвращаемой из водяной рубашки, установленной на крыше или боковой стенке плавильной печи для DRI. Однако недостаток, связанный с более высоким шумом и флуктуирующим электрическим током, может быть устранен, когда реализованы нагнетание необходимого количества кислорода и подача комковатого углеродистого материала для улучшения характеристик шлака, как упомянуто выше.

[0032] Необязательно, чтобы заменить некоторую часть углеродистого материала, подаваемого в шлак и плавающего в шлаке, пылевидный углеродистый материал и/или природный газ могут нагнетать через форсунку 312 для нагнетания углерода вместе с кислородом, чтобы генерировать CO, так чтобы характеристики шлака были бы благоприятными для эффективной передачи электрической дугой энергии в материал, подлежащий расплавлению. Предпочтительно количество углерода или природного газа равно или больше, чем стехиометрическое количество нагнетаемого кислорода в реакции горения, образующей CO₂. Это будет улучшать науглероживание металла, захваченного в шлаке, благодаря взбалтывающему эффекту нагнетаемого кислорода, пылевидного углеродистого материала или природного газа, или предотвращать повторное окисление металла и будет приводить к сокращению потребления углеродистого материала, подаваемого вместе с DRI.

[0033] Тем не менее, этот шлак может не быть таким же пенистым, как шлак, наблюдаемый на традиционной EAF, имеющей содержание FeO вплоть до 20% в шлаке, но благодаря образовавшемуся CO этот шлак является достаточно разреженным, чтобы позволять электрической дуге проникать в шлак и расширять объем шлака для покрытия им дуги. Кроме того, шлак может лучше покрывать электрическую дугу, когда количество шлака больше при подаче DRI низкого сорта, содержащего много кислотной пустой породы. Способ, включающий нагнетание кислорода в шлак и подачу углеродистого материала или нагнетание пылевидного углеродистого материала или природного газа, является более эффективным при производстве горячего металла с использованием DRI низкого сорта.

[0034] Дополнительно, чтобы предотвратить выгрузку углеродистого материала, плавающего в жидком шлаке, вместе со шлаком, верхнюю часть шлака, содержащую не вступивший в реакцию углеродистый материал, можно оставлять в плавильной печи 301 для DRI при выгрузке шлака. Другими словами, уровень высоты верхней части шлака будет поддерживаться выше уровня высоты летки 309 для шлака или нижнего края шлаковой дверцы во время выгрузки шлака согласно вариантам осуществления.

[0035] Чтобы дополнительно улучшить характеристики шлака для достижения более высокой эффективности для передачи энергии электрической дуги в материал железа, чтобы расплавлять DRI, нагнетание газа в ванну расплавленного железа может применяться через форсунку 313 для нагнетания газа, расположенную на дне плавильной печи 301 для DRI. Это происходит так, словно углеродистый материал, захваченный в шлаке для генерирования газа CO, когда горючий газ, такой как природный газ, или восстановительный газ нагнетают в расплавленное железо, возникает из расплавленного железа и реагирует с кислородом, нагнетаемым в шлаке. Это нагнетание газа в расплавленное железо также является выгодным тем, что взбалтывает и лучше перемешивает расплавленное железо, увеличивая эффективность науглероживания, чтобы улучшать выход углерода в DRI и добавленном извне углеродистом материале. Некоторая часть не вступившего в реакцию горючего вещества, поступающего из шлака, будет выпущена в отходящем газе через вытяжной канал 308 плавильной печи для DRI, содержащем CO, сгенерированный при производстве горячего металла с использованием DRI. Отходящий газ, содержащий горючие вещества, будет использован как есть или сожжен для извлечения тепловой энергии. Или, чтобы проще и динамически взбалтывать расплавленное железо и улучшить эффективность науглероживания, электромагнитная мешалка 314 может быть задействована в расплавленной ванне во время производства горячего металла с использованием DRI.

[0036] Таким образом, согласно вариантам осуществления, раскрыты способ и система для поддержания характеристик мягкого и разреженного шлака, благоприятных для эффективной передачи электрической дугой энергии в расплавленное железо с подводимой мощностью на площадь печи выше чем 600 кВт/м^2 , с поддержанием при этом количества FeO меньше чем 5% в шлаке и количества углерода выше чем 2,5% в представляющем собой продукт горячем металле в плавильной печи 301 для DRI.

Способ включает загрузку DRI и добавок в плавильную печь 301 для DRI через загрузочный желоб 304 плавильной печи для DRI, нагнетание кислорода в слой шлака без проникновения через шлак или достижения расплавленного железа из множества форсунок 311 для нагнетания, расположенных по окружности, загрузку комковатого углеродистого материала, подаваемого вместе с DRI, выгрузку шлака через шлаковую дверцу 309 или летку для шлака, расположенные на промежуточном уровне высоты боковой стенки печи, и выпуск представляющего собой продукт горячего металла через летку 310, расположенную на дне или в нижней части печи. Кислород могут нагнетать с дозвуковой скоростью газа в направлении к электродам из форсунок для нагнетания. Количество комковатого углеродистого материала может составлять более чем 30 кг углерода, остающегося в шлаке на 1 тонну расплавленного железа. Пылевидный углеродистый материал или природный газ могут нагнетать в шлаке вместе с кислородом. Количество углерода или природного газа может быть равно или больше, чем стехиометрическое количество кислорода в реакции горения, образующей CO₂. Уровень высоты верхней части шлака можно поддерживать выше уровня высоты летки для шлака или нижнего края шлаковой дверцы во время выгрузки шлака, чтобы предотвращать выгрузку углеродистого материала, плавающего в жидком шлаке, со шлаком из плавильной печи 301 для DRI. Горючий газ, такой как природный газ, или восстановительный газ могут нагнетать через форсунку 313 для нагнетания, расположенную на дне или в нижней части плавильной печи для DRI, чтобы взбалтывать расплавленное железо для улучшения перемешивания и замены некоторой части углеродистого материала, подаваемого вместе с DRI, чтобы эффективно науглероживать расплавленное железо. Ванну расплавленного железа могут взбалтывать электромагнитной мешалкой 314 во время производства горячего металла.

[0037] Таким образом, согласно вариантам осуществления раскрыты способ и система для поддержания характеристик мягкого и разреженного шлака. Также, согласно вариантам осуществления раскрыты способ и система производства горячего металла из DRI с использованием электродугового нагрева. Способ включает: загрузку комковатого углеродистого материала, подаваемого вместе с DRI, в плавильную печь 301 для DRI через загрузочный желоб 304 плавильной печи 301 для DRI; при этом плавильная печь 301 для DRI содержит слой шлака с расплавленным железом под ним; нагнетание кислорода в слой шлака через множество форсунок 311 для нагнетания устройства для нагнетания кислорода так, что кислород не проникает через шлак или

расплавленное железо; выгрузку шлака через шлаковую дверцу или летку 309 для шлака, расположенные на промежуточном уровне высоты боковой стенки печи; и выпуск представляющего собой продукт горячего металла через летку 310 для металла, расположенную на дне или в нижней части печи. Могут поддерживаться характеристики мягкого и разреженного шлака, благоприятные для эффективной передачи энергии электрической дугой плавильной печи 301 для DRI в расплавленное железо с подводимой мощностью на площадь печи выше чем 600 кВт/м^2 , с поддержанием при этом количества FeO меньше чем 5% в шлаке и количества углерода выше чем 2,5% в представляющем собой продукт горячем расплаве в плавильной печи 301 для DRI.

[0038] Таким образом, с учетом вышеизложенного и согласно некоторым вариантам осуществления раскрыт преимущественный способ производства горячего металла из DRI с использованием электродугового нагрева. Способ может включать загрузку DRI в плавильную печь для DRI через желоб; нагнетание кислорода в слой шлака без проникновения через шлак или достижения расплавленного железа из множества форсунок для нагнетания, расположенных по окружности; загрузку комковатого углеродистого материала, подаваемого вместе с DRI; выгрузку шлака через шлаковую дверцу или летку для шлака, расположенные на промежуточном уровне высоты боковой стенки печи, и выпуск представляющего собой продукт горячего металла через летку, расположенную на дне или в нижней части печи.

[0039] Способ может дополнительно включать поддержание характеристик мягкого и разреженного шлака, благоприятных для эффективной передачи электрической дугой энергии в расплавленное железо с входной удельной мощностью на площадь печи выше чем 600 кВт/м^2 с поддержанием при этом количества FeO меньше чем 5% в шлаке и количества углерода выше чем 2,5% в представляющем собой продукт горячем расплаве в плавильной печи для DRI.

[0040] Дополнительно, согласно вариантам осуществления способ может включать, отдельно или в любой комбинации, следующие признаки: кислород может нагнетать с дозвуковой скоростью газа в направлении к электродам из форсунок для нагнетания; количество комковатого углеродистого материала может составлять более чем 30 кг углерода, остающегося в шлаке на 1 тонну расплавленного железа; пылевидный углеродистый материал или природный газ могут нагнетать в шлак вместе с

нагнетанием кислорода и комковатого углеродистого материала; количество углерода или природного газа может быть равно или более чем стехиометрическое количество кислорода в реакции горения, образующей CO₂; уровень высоты верхней части шлака могут поддерживать выше уровня высоты летки для шлака или нижнего края шлаковой дверцы во время выгрузки шлака, чтобы предотвращать выгрузку углеродистого материала, плавающего в жидком шлаке, со шлаком из плавильной печи для DRI; горючий газ, такой как природный газ, или восстановительный газ могут нагнетать, чтобы взбалтывать расплавленное железо, чтобы улучшить перемешивание и заменять некоторую часть углеродистого материала, подаваемого вместе с DRI, чтобы эффективно науглероживать расплавленное железо; и ванну расплавленного железа могут взбалтывать электромагнитной мешалкой во время производства горячего металла.

[0041] Все процентные соотношения, указанные в данном документе, представлены в весовых процентах, если не указано иное.

[0042] Хотя настоящее раскрытие было проиллюстрировано и описано в данном документе со ссылкой на предпочтительные варианты осуществления и их конкретные примеры, специалистам в данной области техники будет очевидно, что другие варианты осуществления и примеры могут выполнять подобные функции и/или достигать аналогичных результатов. Все такие эквивалентные варианты осуществления и примеры находятся в пределах сущности и объема настоящего раскрытия, тем самым предполагаются и предназначены для охвата следующей формулой изобретения. Более того, все признаки, элементы и варианты осуществления могут быть использованы в любой комбинации.

Формула изобретения

1. Способ поддержания характеристик мягкого и разреженного шлака, благоприятных для эффективной передачи электродуговой печью энергии в расплавленное железо с подводимой мощностью на площадь печи выше чем 600 кВт/м^2 , с поддержанием при этом количества FeO меньше чем 5 вес. % в шлаке и количества углерода выше чем 2,5 вес. % в представляющем собой продукт горячем металле в плавильной печи для железа прямого восстановления (DRI), включающий:

предоставление электрической плавильной печи для DRI в виде электродуговой печи и содержание множества электродов для электродугового нагрева;

загрузку DRI в плавильную печь для DRI через желоб;

загрузку комковатого углеродистого материала, подаваемого вместе с DRI;

формирование слоя шлака, содержащего шлак, и формирование слоя расплавленного железа под слоем шлака;

предоставление по меньшей мере одной форсунки для нагнетания кислорода для нагнетания кислорода;

нагнетание кислорода в слой шлака без проникновения через шлак или достижения расплавленного железа из по меньшей мере одной форсунки для нагнетания кислорода;

регулирование скорости потока кислорода для стабилизации флуктуации тока для каждого электрода;

выгрузку шлака через шлаковую дверцу или летку для шлака, расположенную на промежуточном уровне высоты боковой стенки плавильной печи для DRI; и

выгрузку представляющего собой продукт горячего металла через летку, расположенную на дне или в нижней части плавильной печи для DRI;

при этом способ поддерживает характеристики мягкого и разреженного шлака, благоприятные для эффективной передачи электродуговой печью энергии в расплавленное железо с подводимой мощностью на площадь печи выше чем 600 кВт/м^2 , с поддержанием при этом количества FeO меньше чем 5 вес. % в шлаке и

количества углерода выше чем 2,5 вес. % в представляющем собой продукт горячем металле в плавильной печи для DRI.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что включает предоставление множества форсунок для нагнетания, расположенных по окружности по печи, и при этом кислород нагнетают с дозвуковой скоростью газа в направлении к электродам из форсунок для нагнетания.

3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что скоростью потока кислорода управляют для поддержания уровня шума ниже 90 дБ в плавильной печи для DRI.

4. Способ по п. 1, отличающийся тем, что количество комковатого углеродистого материала составляет более чем 30 кг углерода, остающегося в шлаке на 1 тонну расплавленного железа.

5. Способ по п. 1, отличающийся тем, что пылевидный углеродистый материал или природный газ нагнетают в шлаке вместе с кислородом.

6. Способ по п. 5, отличающийся тем, что количество углерода или природного газа равно или более чем стехиометрическое количество кислорода в реакции горения, образующей CO₂.

7. Способ по п. 1, отличающийся тем, что уровень высоты верхней части шлака поддерживают выше уровня высоты летки для шлака или нижнего края шлаковой дверцы во время выгрузки шлака, чтобы предотвращать выгрузку углеродистого материала, плавающего в жидком шлаке, со шлаком из плавильной печи для DRI.

8. Способ по п. 1, отличающийся тем, что горючий газ, такой как природный газ, восстановительный газ или инертный газ, такой как азот, нагнетают для взбалтывания расплавленного железа, чтобы улучшить перемешивание и заменять некоторую часть углеродистого материала, подаваемого вместе с DRI, для эффективного науглероживания расплавленного железа.

9. Способ по п. 1, отличающийся тем, что расплавленное железо взбалтывают электромагнитной мешалкой во время производства горячего металла.

10. Способ по п. 1, отличающийся тем, что DRI получают из железной руды, имеющей содержание железа меньше 65 вес. %.

11. Способ производства представляющего собой продукт горячего металла из DRI с использованием электродугового нагревания, включающий:

загрузку DRI вместе с комковатым углеродистым материалом в электрическую плавильную печь для DRI через по меньшей мере один желоб;

формирование слоя шлака, содержащего шлак, и формирование слоя расплавленного железа под слоем шлака;

нагнетание кислорода в слой шлака без проникновения через шлак или достижения расплавленного железа из множества форсунок для нагнетания, расположенных по окружности;

выгрузку шлака через шлаковую дверцу или летку для шлака, расположенную на промежуточном уровне высоты боковой стенки печи; и

выгрузку представляющего собой продукт горячего металла через летку, расположенную на дне или в нижней части плавильной печи для DRI;

при этом способ дополнительно включает поддержание характеристик мягкого и разреженного шлака, благоприятных для эффективной передачи электрической дугой энергии в расплавленное железо с подводимой мощностью на площадь печи выше чем 600 кВт/м², с поддержанием при этом количества FeO меньше чем 5 вес. % в шлаке и количества углерода выше чем 2,5 вес. % в представляющем собой продукт горячем металле в плавильной печи для DRI.

12. Система, выполненная с возможностью поддержания характеристик мягкого и разреженного шлака, благоприятных для эффективной передачи электродуговой печью энергии в расплавленное железо с подводимой мощностью на площадь печи выше чем 600 кВт/м², с поддержанием при этом количества FeO меньше чем 5 вес. % в шлаке и количества углерода выше чем 2,5 вес. % в представляющем собой продукт горячем металле в плавильной печи для железа прямого восстановления (DRI), причем система содержит:

электрическую плавильную печь для DRI в виде электродуговой печи и содержащая множество электродов для электродугового нагрева;

желоб, выполненный с возможностью загрузки через него DRI вместе с комковатым углеродистым материалом в плавильную печь для DRI через желоб; при этом система выполнена с возможностью формирования слоя шлака, содержащего шлак, и слоя расплавленного железа под слоем шлака;

по меньшей мере одну форсунку для нагнетания кислорода, выполненную с возможностью нагнетания кислорода в слой шлака без проникновения через шлак или достижения расплавленного железа из по меньшей мере одной форсунки для нагнетания кислорода;

регулятор кислорода, выполненный с возможностью регулирования скорости потока кислорода для стабилизации флуктуации тока для каждого электрода;

шлаковую дверцу или летку для шлака, расположенную на промежуточном уровне высоты боковой стенки плавильной печи для DRI, выполненную с возможностью выгрузки шлака; и

летку, расположенную на дне или в нижней части плавильной печи для DRI, выполненную с возможностью выпуска представляющего собой продукт горячего металла;

при этом система выполнена с возможностью поддержания характеристик мягкого и разреженного шлака, благоприятных для эффективной передачи электродуговой печью энергии в расплавленное железо с подводимой мощностью на площадь печи выше чем 600 кВт/м², с поддержанием при этом количества FeO меньше чем 5 вес. % в шлаке и количества углерода выше чем 2,5 вес. % в представляющем собой продукт горячем металле в плавильной печи для DRI.

13. Система по п. 12, отличающаяся тем, что содержит множество форсунок для нагнетания, расположенных по окружности по печи, и при этом кислород предназначен для нагнетания с дозвуковой скоростью газа в направлении к каждому электроду из форсунок для нагнетания.

14. Система по п. 12, отличающаяся тем, что количество комковатого углеродистого материала составляет более чем 30 кг углерода, остающегося в шлаке на 1 тонну расплавленного железа.

15. Система по п. 12, отличающаяся тем, что пылевидный углеродистый материал или природный газ предназначены для нагнетания в шлаке вместе с кислородом.

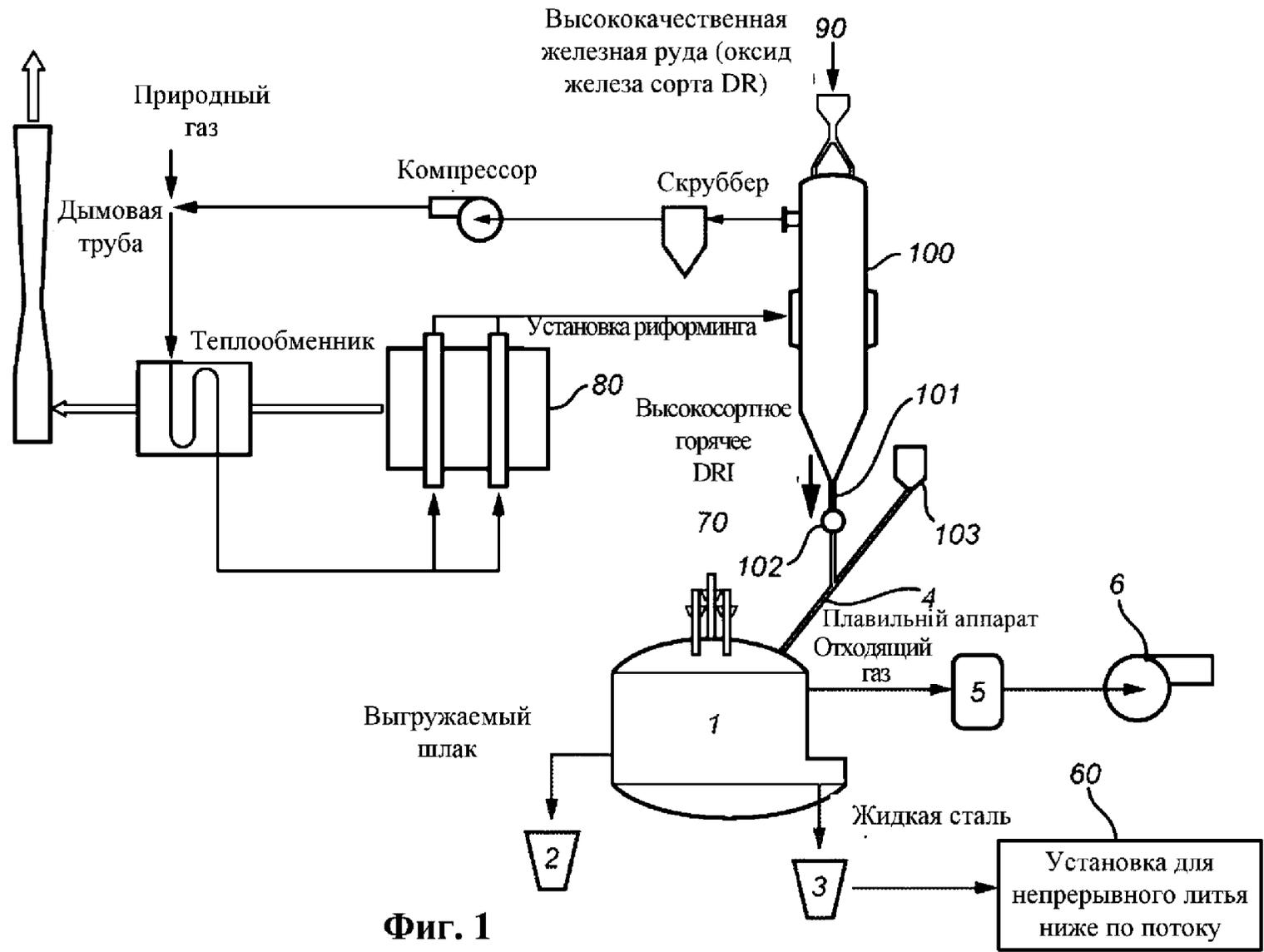
16. Система по п. 15, отличающаяся тем, что количество углерода или природного газа равно или более чем стехиометрическое количество кислорода в реакции сгорания, образующей CO₂.

17. Система по п. 12, отличающаяся тем, что уровень высоты верхней части шлака поддерживается выше уровня высоты летки для шлака или нижнего края шлаковой дверцы во время выгрузки шлака, чтобы предотвращать выгрузку углеродистого материала, плавающего в жидком шлаке, со шлаком из плавильной печи для DRI.

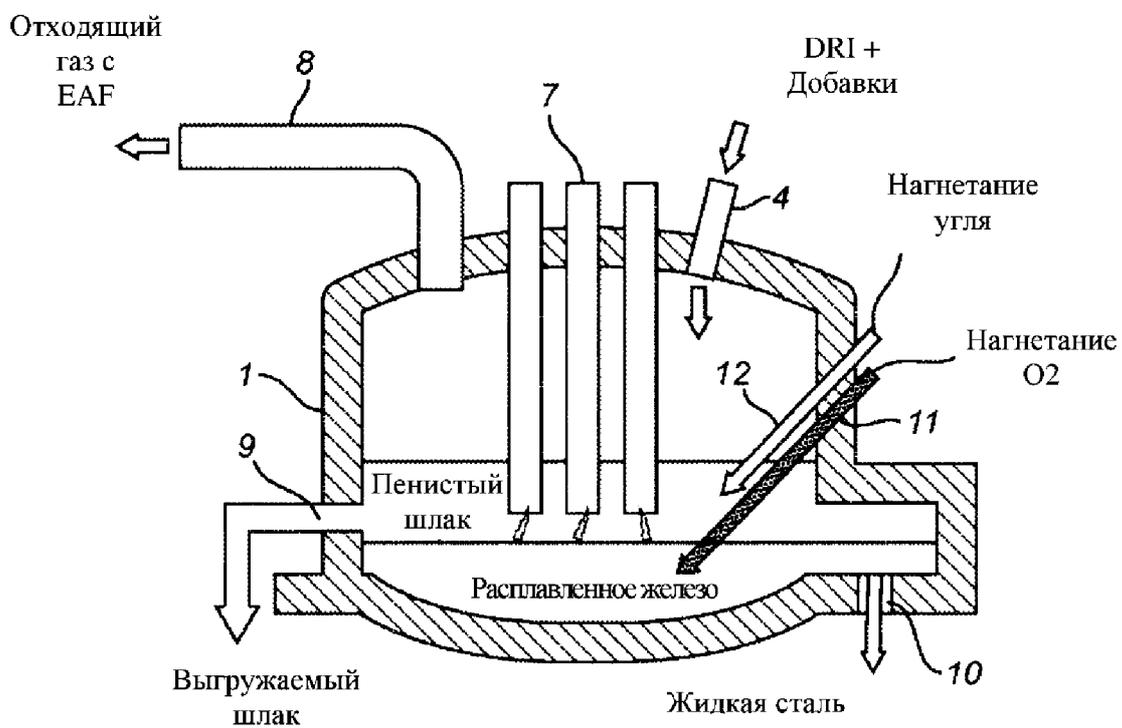
18. Система по п. 12, отличающаяся тем, что горючий газ, такой как природный газ, восстановительный газ или инертный газ, такой как азот, предназначены для нагнетания для взбалтывания расплавленного железа, чтобы улучшить перемешивание и заменять некоторую часть углеродистого материала, подаваемого вместе с DRI, для эффективного науглероживания расплавленного железа.

19. Система по п. 12, отличающаяся тем, что дополнительно содержит электромагнитную мешалку, выполненную с возможностью взбалтывания расплавленного железа.

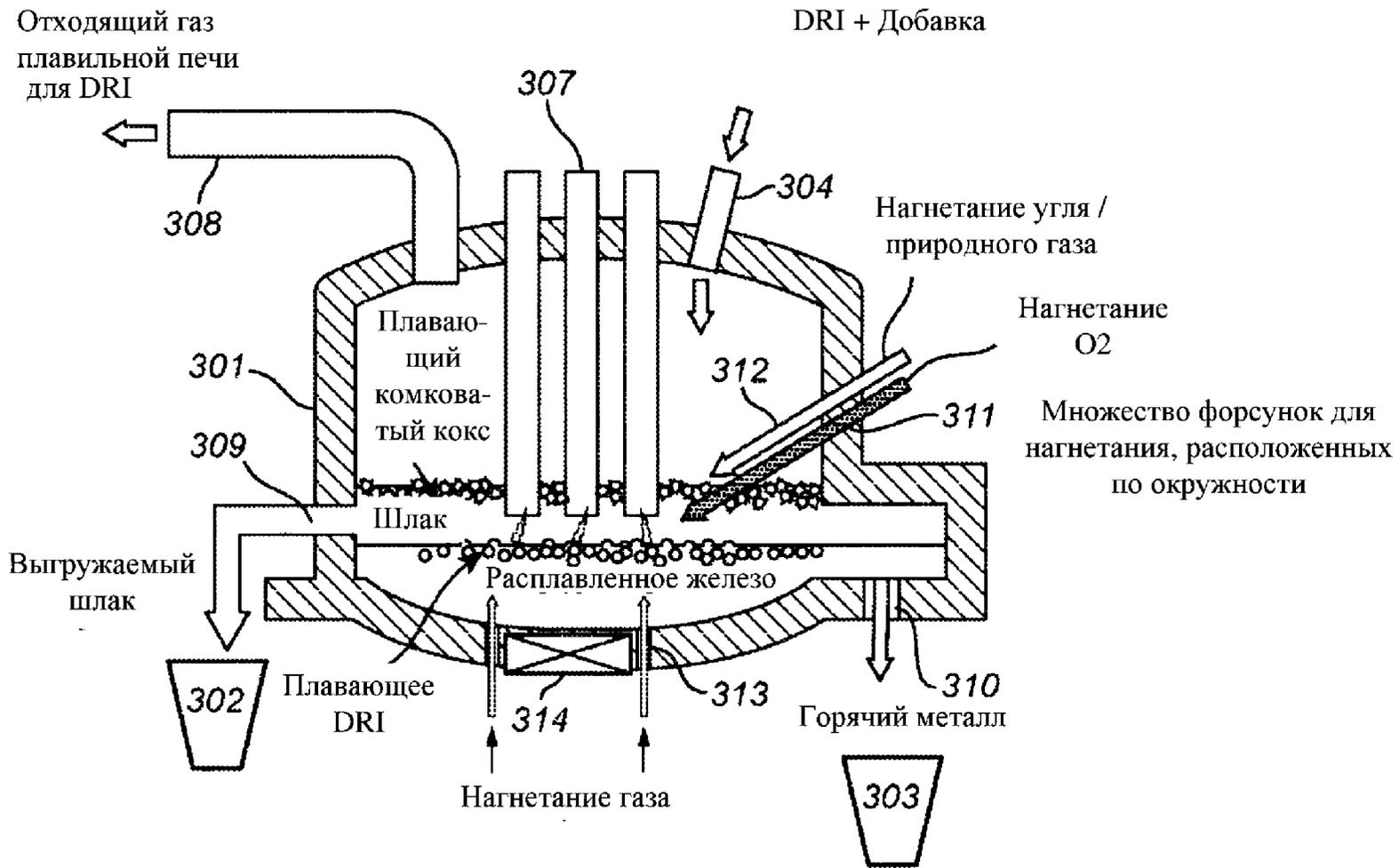
20. Система по п. 12, отличающаяся тем, что DRI получено из железной руды, имеющей содержание железа меньше 65 вес. %.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3