



Республика Таджикистан

(19)TJ (11)114

(51) 6 C21B 13/14

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПАТЕНТНОЕ
ВЕДОМСТВО

(12) **Описание изобретения** К ПАТЕНТУ

(60) 5052777 RU, 09.10.91

(21) 95000256

(22) 20.12.95

(31) 07/768781

(32) 03.10.91

(33) US

(46) 25.12.96, Бюл. № 4

(86) PCT/US 91/07565 (09.10.91)

(72) Гайгер Гордон (US)

(71) (73) Каргилл, Инкорпорейтед (US)

(56) Патент США № 4085923, кл. С 21В 13/00, 1978. Патент США № RE 32247, кл. С 22В 1/10, 1985.

(54) СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТОГО СПЛАВА (ЕГО ВАРИАНТЫ) И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

(57) Сущность: в способе непрерывного производства железоуглеродистого сплава используют закрытый реактор, приспособленный для ограничения поступления в него газов из атмосферы и выхода из него газообразных продуктов реакции. В ванну расплавленного металлического материала в реактор подают твердый минеральный материал, содержащий карбид железа и по меньшей мере незначительное количество окисла железа, при содержании карбида железа, по меньшей мере приблизительно в два раза превышающем по массе содержание окисла железа. Одновременно осуществляют реакцию расплавленного металлического материала с кислородом при температуре, достаточной для образования в качестве продукта реакции окиси углерода. Кислород может вдуваться в расплавленный металлический материал для облегчения протекания реакции между кислородом и углеродом карбида железа с образованием окиси углерода. Окись углерода попадает в пространство реактора над ванной и вступает в реакцию с кислородом с образованием углекислого газа и выделением тепла. Устройство для осуществления предложенного способа содержит реактор для предварительного минерального сырья и соединенный с ним закрытый реактор для получения железоуглеродистого сплава, оборудованный средствами вдувания кислорода как под ванну, так и над ванной расплава. Устройство содержит также подогреватель, расположенный между реактором предварительного восстановления и закрытым реактором и обогреваемым отходящими из процесса получения железоуглеродистого сплава продуктами реакции. 4 с. и 23 з. п. ф-лы, 7 ил.

Изобретение относится к пирометаллургии черных металлов и предназначено для непрерывного производства железоуглеродных сплавов.

Периодические способы получения стали из железной руды хорошо известны. Такой способ включает получение в доменной печи из железной руды переплавленного чугуна, который затем подают вместе с железным или стальным ломом в кислородный конвертер или электрическую печь. Эти способы всегда связаны с потреблением

большого количества энергии, Кроме того, они сильно загрязняют окружающую среду вредными выделениями, образующимися при работе соответствующего оборудования. Попытки снижения производственных расходов были направлены на решение обеих этих проблем, т.е. на уменьшение затрат на потребление энергии и на снижение расходов в результате уменьшения или сведения к минимуму загрязнения окружающей среды.

В патенте США № 4085923 описано устройство для непрерывной переработки в закрытом реакторе руды черных металлов с содержанием значительного количества серы. Это устройство позволяет удерживать внутри оборудования вредные газообразные продукты реакции, такие как двуокись серы и т.п. В указанном патенте предлагается использовать такое устройство для производства стали непосредственно из руд, содержащих оксиды железа. Однако необходимость добавлять в этом случае большие количества углеродного топлива в реактор для полного восстановления оксидов железа ограничивает интерес к разработке и использованию такого способа. Описанный в указанном патенте реактор Квино-Шухмана, по-видимому, никогда успешно не использовался для проведения такой реакции. Это объясняется очевидными трудностями, связанными с необходимостью дополнительно подавать большое количество тепла при осуществлении непрерывного процесса в реакторе для полного восстановления оксидов железа. Кроме того, при использовании угля в качестве топлива, выделяющего тепло, в устройство скорее всего будет попадать сера. Это приведет к необходимости использовать дорогостоящее оборудование для уменьшения вредных выделений, упомянутое выше, а также к попаданию серы в получаемый металл.

Наиболее близким по достигаемому техническому результату является патент США № RE 32247, в котором описан способ производства карбида железа из железной руды с использованием кипящего слоя, при котором отсутствует необходимость в доменной печи. Получаемый карбид железа подают затем либо в кислородный конвертер, либо в электрическую печь. Этот способ имеет периодический (прерывистый) характер и не предусматривает использования карбида железа в качестве подаваемого материала при осуществлении непрерывного процесса получения железоуглеродистого сплава.

В процессе осуществления известных периодических способов с использованием кислородного конвертера или электрической печи оборудование открыто со стороны атмосферы. Из-за необходимости улавливать и подвергать обработке газообразные и другие выделения, имеющие место при осуществлении таких открытых процессов, приходится дополнительно устанавливать весьма сложное оборудование. Это оборудование должно быть рассчитано не только на обработку продуктов, выделяющихся в процессе осуществления самого способа, но и больших количеств воздуха, поступающего в работающее оборудование из окружающей среды. Это сильно увеличивает капитальные затраты на сооружение и обслуживание оборудования для производства стали способом, представляющим собой периодический процесс.

Таким образом, целью изобретения является создание такого способа и устройства для его осуществления, в котором отсутствовала бы необходимость улавливать и подвергать обработке газообразные летучие соединения, выделяющиеся в процессе, и большие объемы воздуха, поступающего из окружающей среды, а также добавлять в реактор большие количества углеродного топлива для полного восстановления оксидов железа. Изобретение направлено на удовлетворение такой потребности, а также и на решение других проблем, связанных с производством железоуглеродистых сплавов.

В соответствии с изобретением предложен способ непрерывного производства железоуглеродистого сплава, отличающийся экономичностью в отношении потребляемой энергии и облегчающий решение экологических проблем. Этот способ включает использование закрытого реактора для подачи в него минерального и/или металлического материала и осуществления в нем реакции с участием указанного материала в непрерывном процессе. Реактор, в котором находится ванна расплавленного металлического материала, выполнен с возможностью ограничения поступления в него

газов из атмосферы и отвода из него газообразных продуктов реакции. Реактор, имеющий узел ввода предварительно восстановленного материала, узел выпуска железоуглеродистого сплава и шлака, наклонен в продольном направлении, чтобы обеспечить перемещение полученного в результате реакции железоуглеродистого сплава, находящегося в ванне, к узлу выпуска.

Способ включает также непрерывную подачу предварительно восстановленного материала в ванну расплавленного металлического материала внутри закрытого реактора таким образом, что восстановленный материал смешивается с расплавленным материалом ванны и становится ее частью. Восстановленный материал содержит карбид железа, а в предпочтительном варианте карбид железа и незначительное количество оксида железа при содержании карбида железа в восстановленном материале, составляющем приблизительно 50 мас.% и превышающем по массе содержание оксида железа по меньшей мере приблизительно в два раза. Под восстановленным материалом о данном описании имеется ввиду материал, включающий минералы и/или материал, такой как карбид железа и т.п., который может быть охарактеризован как металл или металлический материал. По мере уменьшения количества оксида железа величина отношения содержания карбида железа к содержанию оксида железа может приближаться к бесконечности.

Способ также включает осуществление одновременно с подачей восстановленного материала реакции расплавленного металлического материала с кислородом при температуре, достаточной для образования а качестве газообразного продукта реакции оксида углерода. В процессе реакции в ванну расплавленного металлического материала вдувают кислород для облегчения протекания реакции с образованием о качестве продукта реакции оксида углерода, который затем попадает в паровое пространство над ванной внутри реактора. Кислород может также вдуваться в паровое пространство реактора, где он реагирует с оксидом углерода с образованием углекислого газа и выделением тепла для поддержания реакции. Желательно, чтобы соотношение компонентов восстановленного минерального материала было достаточным для образования такого количества оксида углерода из карбида железа, при котором выделяющегося тепла было бы достаточно для поддержания реакции без существенного дополнительного поступления тепла или добавления дополнительных его источников.

Следует отметить, что при уменьшении количества оксида железа по сравнению с карбидом железа количество необходимого тепла также уменьшается. Когда величина отношения достаточно велика, реакция в реакторе становится автогенной (самоподдерживающейся) и может идти неопределенно долго без дополнительного подвода тепла от внешних источников или существенного добавления дополнительных источников тепла, кроме очень небольшого количества углеводорода, лучше всего метана, который попадает в ванну расплавленного материала вместе с кислородом, вдуваемым в ванну через инжекторы Саварда-Ли, в которых используются экранирующие потоки углеводорода.

Изобретение имеет много преимуществ по сравнению с существующей технологией производства железоуглеродистых сплавов. Главные из них связаны с непрерывным характером процесса и с использованием закрытого реактора, выполненного с возможностью ограничения поступления в него газов из атмосферы и отвода из него газообразных продуктов реакции. Благодаря непрерывной работе реактора экономится время, затрачиваемое на остановку и возобновление процесса, когда он носит периодический (прерывистый) характер. Закрытый реактор позволяет воздействовать на образование отходящих газов, заставляя их дополнительно вступать в реакцию с другими химическими веществами, а также использовать тепло, выделяемое в результате таких реакций. Кроме того, предлагаемый способ сводит к минимуму необходимость использования больших и дорогостоящих устройств для улучшения качества воздуха,

которое так необходимо при использовании современных периодических процессов производства стали с применением оборудования открытого типа.

В соответствии с изобретением предварительно восстановленный материал, содержащий карбид железа, а в предпочтительном варианте осуществления также незначительное количество оксида железа, подают в закрытый реактор, содержащий ванну расплавленного металлического материала. Первоначальное образование такой ванны на начальной стадии работы реактора может быть достигнуто различными путями. Так, например, можно использовать внешние горелки для нагрева содержимого реактора или предварительный нагрев подаваемого материала до его расплавления. Лучше всего получать такую ванну путем нагрева металлического лома, образующего расплавленный металлический материал, который хорошо подходит для осуществления начала процесса.

В ванну расплавленного металлического материала внутри реактора вдувают кислород. Этот кислород эффективно реагирует с карбидом железа подаваемого материала с образованием железистых сплавов и оксида углерода. Оксид углерода переходит затем в паровое пространство внутри реактора, где реагирует с дополнительным количеством кислорода, подаваемым в реактор для получения тепла, необходимого для поддержания реакции. Следует иметь в виду, что для полного восстановления оксида железа лучше всего использовать карбид железа, изменяя соотношение карбида железа и оксида железа в подаваемом восстановленном минеральном материале для улучшения энергетического КПД реакции. Присутствие достаточного количества углерода в восстановленном минеральном материале, не содержащем серы, сводит к минимуму необходимость использования дополнительной энергии. Хотя такую дополнительную энергию можно получить путем подачи углеродсодержащего материала, использование такого материала (уголь, древесный уголь и т.п.) обычно приводит к попаданию в реактор серы. Поэтому добавление таких материалов нежелательно, поскольку приведет к необходимости иметь дорогостоящее оборудование для борьбы с вредными серными соединениями, образующимися во время процесса, или для удаления серы из получающейся стали.

Оксид углерода, образующийся в ванне с металлическим расплавом и попадающий затем в паровое пространство реактора, реагирует с кислородом, в результате чего выделяется тепло и образуется углекислый газ. Источником этого кислорода может быть избыток кислорода, вдуваемого в ванну и попадающего затем в паровое пространство, хотя возможность использования такого источника кислорода представляется сомнительной и лучше вдувать кислород непосредственно в паровое пространство реактора через соответствующие инжекторы. Количество кислорода, вдуваемого в ванну и паровое пространство, может быть неравномерным по длине реактора для соответственной компенсации изменения реакционной способности соответственно расплавленного металлического материала и оксида углерода в паровом пространстве. Реакция оксида углерода с кислородом в паровом пространстве является экзотермической и приводит к образованию тепла, которое по меньшей мере частично снова поглощается в ванне для поддержания реакции между карбидом железа и кислородом и реакции восстановления оксида железа с образованием расплавленного железистого сплава. Часть тепла, удерживаемого углекислым газом, выходящим из парового пространства, также можно эффективно использовать, направляя этот газ в подогреватель подаваемого материала, где он отдает свое тепло восстановленному минеральному материалу, подаваемому через подогреватель в закрытый реактор. Молярное отношение содержания карбида железа к содержанию оксида железа в подаваемом восстановленном материале можно изменять, обеспечивая достаточное количество углерода по сравнению с количеством имеющегося оксида железа и выделяя тем самым в результате последующих реакций окисления, приводящих к образованию оксида углерода и углекислого газа, количества тепловой энергии, достаточного для поддержания

реакционного процесса без существенного поступления тепла от внешнего источника или от дополнительного топлива.

В закрытом реакторе может быть достигнуто устойчивое протекание процесса. Содержимое ванны металлического расплава будет состоять из двух отдельных слоев. Нижний более плотный слой будет включать расплавленный материал, содержащий карбид и оксиды железа, вблизи входного конца реактора, со стороны которого расположен узел ввода восстановленного материала, и железоуглеродистый сплав вблизи выходного конца реактора, где расположен узел выпуска железоуглеродистого сплава. Необходимо отметить, что содержание этих материалов в нижнем слое будет постепенно изменяться вдоль длины реактора в результате увеличения времени протекания реакции с кислородом по мере приближения к узлу выпуска сплава из реактора. Верхний слой, представляющий собой шлак, будет содержать оксид железа и другие примеси, которые присутствовали в подаваемом материале. Эти примеси могут представлять собой диоксид кремния, оксид магния и т.п. Образование шлака может быть усилено путем добавления основного оксида, например извести (оксида кальция), обеспечивающего образование шлака; имеющего малую вязкость и низкую температуру плавления. Как железоуглеродистый сплав, так и шлак непрерывно удаляют предпочтительно с противоположных концов реактора, чтобы создать противоток на границе раздела между нижним слоем сплава и верхним слоем шлака. Изменяя скорость удаления сплава, можно управлять уровнем, на котором находится граница между этими слоями. В соответствии с предпочтительным вариантом осуществления изобретения расплавленный железоуглеродистый сплав, удаляемый из реактора, может быть дополнительно легирован легирующими веществами, такими как никель, молибден, марганец, алюминий и т.п., для изменения свойств получаемого продукта в соответствии с хорошо известными способами.

На фиг.1 изображена схема устройства для производства железоуглеродистого сплава в соответствии с изобретением; на фиг.2 - схема закрытого реактора карбида железа, являющегося частью устройства, показанного на фиг.1; на фиг.3 - схема последовательности операций, проводимых в соответствии с одним из предпочтительных вариантов осуществления изобретения; на фиг.4 - график, показывающий зависимость количества образующегося оксида углерода от содержания углерода в железоуглеродистом сплаве при подаче материала, содержащего 92% карбида железа и 4% оксида железа; на фиг.5 - график, показывающий зависимость количества образующегося оксида углерода от содержания углерода в железоуглеродистом сплаве при подаче материала, содержащего 88% карбида железа и 8% оксида железа; на фиг.6 - график, показывающий влияние предварительного нагрева подаваемого восстановленного минерального материала на общий энергетический баланс; на фиг.7 - график, показывающий температуру подаваемого восстановленного минерального материала, при которой отсутствует необходимость в дополнительной подаче тепла.

На фиг.1 изображена общая схема устройства 2 для производства железоуглеродистого сплава и последующего его легирования, выполненная согласно изобретению. Устройство содержит реактор 4 для получения карбида железа из оксида железа способом, аналогичным описанному в патенте США № RE 32247 (Стивенс). Необходимо отметить, однако, что такой способ не является единственно возможным и для той же цели могут быть использованы и другие способы.

Устройство содержит также подогреватель 6 для предварительного нагрева карбидсодержащего материала перед подачей его в закрытый реактор 10; такой предварительный нагрев, однако, не является обязательным. Карбид железа представляет собой лишь часть предварительно восстановленного минерального материала 20, подаваемого в реактор 10. Хотя карбид железа составляет по меньшей мере половину, а предпочтительно более значительную часть минерального материала 20, вместе с карбидом железа в реактор 10 поступают и другие минеральные компоненты. Одним из

наиболее важных из них является та часть оксида железа, которая была восстановлена до карбида железа в реакторе 4. Работа реактора 4 может быть также отрегулирована таким образом, чтобы обеспечить получение продукта, содержащего карбид и оксид железа в заданном соотношении. Предварительно восстановленный минеральный материал 20 подается затем в закрытый реактор 10, работа которого зависит от соотношения карбида и оксида железа в подаваемом материале. Закрытый реактор 10 (см. фиг. 3) имеет корпус (оболочку) 11, в который поступает подаваемый материал 20. Кроме того, в соответствии с предпочтительным вариантом осуществления изобретения в реактор подают также основной оксид 30 и кислород 21 и 23. В результате реакции получается железоуглеродистый сплав 36 и образуется шлак 42, которые удаляют с противоположных концов реактора 10. Сплав 36, удаленный из реактора 10, можно затем легировать легирующими веществами в реакторе 13 с получением легированных продуктов в соответствии с хорошо известными способами.

В результате реакции в реакторе 10 образуется также горячий углекислый газ (CO_2). Этот горячий углекислый газ 32 можно подавать из корпуса 11 реактора 10 через трубопровод 15 отходящего газа и подогреватель 6, где тепло горячего углекислого газа используется для предварительного нагрева восстановленного минерального материала перед его подачей в реактор 10.

Предварительно восстановленный минеральный материал 20 подают внутрь корпуса 11 реактора 10 через узел 22 ввода предварительно восстановленного материала. При поступлении внутрь корпуса 11 восстановленный материал, обычно предварительно нагретый, попадает в ванну 12 расплавленного металлического материала. Ванна 12 содержит нижний более плотный слой 14 железоуглеродистого сплава и верхний более легкий слой 16 шлака. Восстановленный минеральный материал 20 смешивается с расплавленным металлическим материалом ванны 12 и становится ее частью. Есть основания полагать, что карбид и оксид железа, представляющие собой компоненты восстановленного минерального материала, фактически растворяются в ванне металлического расплава.

В ванну расплавленного металлического материала через погруженные в нее инжекторы 24, представляющие собой, например, погруженные кислородные инжекторы Саварда-Ли, использующие защитный газ и описанные в патенте США № 3932172, вдувается кислород 21. Поток защитного газа, окружающего вдуваемый кислород, может представлять собой газообразный углеводород, например метан CH_4 (на чертеже подача защитного газа не показана). При поступлении в ванну 12 кислород 21 вступает в экзотермическую реакцию с карбидом железа с образованием оксида углерода, который попадает в паровое пространство 1,7 над ванной 12. Использование газообразного углеводорода, окружающего подаваемый кислород 21, имеет целью максимальное ослабление реакции кислорода с карбидом железа в непосредственной близости от инжекторов 24 для предотвращения их повреждения в результате выделения тепла в процессе указанной реакции. Следует отметить, что часть кислорода 21, вдуваемого в ванну 12, может выйти из расплавленного материала и попасть в паровое пространство 17 над ванной 12, хотя это представляется маловероятным. Необходимо также иметь в виду, что хотя газообразный углеводород (метан), вдуваемый в ванну 12 вместе с кислородом 21, в принципе можно рассматривать как источник образования тепловой энергии, его роль в образовании тепла слишком мала для того, чтобы считать его источником существенного количества добавочной тепловой энергии, влияющего на протекание реакционного процесса.

В соответствии с другим вариантом осуществления изобретения метан или другой газообразный углеводород можно вдувать в реактор 10, предпочтительно в паровое пространство 17, в значительных количествах для создания дополнительной энергии, служащей для поддержания реакции в реакторе 10. Могут быть использованы и другие источники энергии такие, например, как уголь, древесный уголь и другие источники

углерода, электрическая дуга или другие устройства, работающие на электрическом токе. В соответствии с предпочтительным вариантом осуществления, однако, в источниках дополнительной энергии нет необходимости пока отношение содержания карбида железа к содержанию оксида железа остается достаточно большим для обеспечения автогенной (самоподдерживающейся) реакции в реакторе 10. Целесообразно, чтобы экзотермические реакции кислорода с углеродом карбида железа и кислорода с оксидом углерода обеспечивали получение по меньшей мере около 90, лучше около 95, еще лучше около 97, еще лучше около 99, а еще лучше всего около 100% энергии, необходимой для протекания реакции в реакторе 10 в течение неопределенно долгого времени.

В паровое пространство 17 также может вдуваться кислород 23 через входные отверстия 26. Этот кислород реагирует с оксидом углерода, полученным в качестве продукта реакции в ванне, с образованием в процессе экзотермической реакции диоксида углерода. Тепло, выделяющееся в результате этой реакции, служит для поддержания других реакций, внутри корпуса 11 реактора 10.

Восстановленный минеральный материал 20 подают в ванну 12 расплава металлического материала непрерывно. Этот материал можно подавать через поверхность шлака 16 в верхнем слое 11 или непосредственно в слой 14 металла (второй вариант на чертеже не показан). Железоуглеродистый сплав 36, получающийся в результате реакций, протекающих в ванне 12, непрерывно удаляется через узел выпуска железоуглеродистого сплава 38 в выходном конце 39 корпуса 11 реактора 10, находящемся с противоположной стороны по отношению к входному концу 40 корпуса 11, где осуществляется подача восстановленного минерального материала. Целесообразно, чтобы выходной конец 39 реактора 10 был расположен несколько ниже входного конца 40. Одновременно с этим шлак 42 непрерывно удаляют с входного конца 40 через узел выпуска шлака 44. Поскольку шлак 42 и сплав 36 удаляются с противоположных концов реактора 10, на границе раздела между слоем 14 сплава и слоем 16 шлака образуется противоток, помогающий эффективно удалять из сплава минеральные примеси и уменьшить содержание оксида железа в шлаке до уровня, соответствующего тому, который имеет место при получении аналогичных продуктов известными способами.

В реактор 10 через узел ввода 28 может подаваться основной оксид 30, такой как известь и т.п. Основной оксид 30 способствует образованию слоя 16 шлака. В качестве узла 22 ввода восстановленного минерального материала и узла 28 ввода основного оксида можно использовать различные известные устройства для подачи материала в закрытое пространство при одновременном ограничении при этом поступления газов из атмосферы и выхода газообразных продуктов реакции, например устройства с вращающимися воздушными шлюзами.

Реактор 10 является закрытым с целью предотвращения поступления в него газов из атмосферы и отвода из него газообразных продуктов реакции. Горячий диоксид углерода 32 может выходить из парового пространства 17 в трубопровод 15 отходящих газов через средства отвода 35 отходящих газов. Форма корпуса 11 реактора 10 может быть различной, при условии что он имеет достаточное внутреннее пространство для формирования ванны 12 металлического расплава, имеющей две фазы (два слоя). Более плотный нижний слой 14 ванны содержит расплавленный железоуглеродистый сплав, а более легкий верхний слой 16 состоит из шлака. Корпус 11 реактора 10 целесообразно выполнить так, чтобы выходной конец 39 располагался несколько ниже входного конца 40, что позволяет легко удалять содержимое реактора 10. Реактор 10 может иметь форму удлиненного цилиндра, как реактор Квино-Шухмана (реактор QS) или кислородный конвертер непрерывного действия, описанный в патенте США № 40859923. Следует иметь в виду, однако, что могут быть использованы и другие известные конструкции реакторов, отвечающие предъявленным требованиям, и что форма реактора не имеет принципиального значения. Реактор 10 может быть снабжен механизмом (не показан) поворота корпуса 11 на 90° вокруг продольной оси, что позволит производить чистку и

ремонт погруженных инжекторов 24. Таким образом, ванна 12 расплавленного материала может быть смещена, открывая доступ к инжекторам 24.

Восстановленный минеральный материал 20, подаваемый в реактор 10, может представлять собой мелкоизмельченный твердый материал, содержащий карбид железа и по меньшей мере незначительное количество оксида железа, а также небольшое количество пустой, породы и других примесей, таких как оксид кремния, оксид магния, металлическое железо, свободный углерод и т.п. Соотношение карбида и оксида железа в подаваемом материале может быть различным в зависимости от способа получения карбида железа о подаваемом материале. По мере уменьшения содержания оксида железа в восстановленном материале 20 отношение содержания карбида железа к содержанию оксида железа может приближаться к бесконечности. Однако какое-то, пусть и незначительное, количество оксида железа будет присутствовать практически всегда. Восстановленный минеральный материал лучше подавать в реактор в виде порошка или гранул с размером частиц приблизительно от 1 мм до 10 мкм, хотя этот размер не имеет решающего значения.

Желательно, чтобы содержание карбида железа в восстановленном материале 20 по меньшей мере приблизительно в два, а лучше в три, еще лучше а четыре раза превышало по массе содержание оксида железа. Лучше, если это ее соотношение будет еще выше, например приблизительно 6:1, лучше 8:1, а еще лучше 10:1 или больше. В случае, если отношение массы карбида железа к массе оксида железа приблизительно составляет 18:1, а лучше 20:1, а восстановленный минеральный материал 20 содержит приблизительно 75, лучше 85, а еще лучше 90 мас.% карбида железа, можно считать, что содержание углерода о восстановленном материале 20 будет достаточным для устранения необходимости в поступлении дополнительной энергии в реактор 10 для поддержания протекающей в нем реакции. Необходимо, однако, отметить, что устройство может работать и при отношении содержания карбида железа к содержанию оксида железа, меньшем, чем приблизительно 18:1, при условии, что в реактор 10 будет добавлено дополнительное количество углерода, например, в виде угля, древесного угля и т.п. или другие источники тепловой энергии. Однако применять добавочные источники углерода нежелательно из-за присутствия в большинстве из них серы и углерода нежелательно из-за присутствия в большинстве из них серы и других вредных примесей, наличие которых приведет к необходимости использовать дорогостоящие устройства для борьбы с возникающими при этом выделениями вредных веществ и к появлению нежелательных примесей в конечных продуктах.

Профессором Полом Квином было предложено модифицировать реактор QSL (см. Реактор QSL для свинца и перспективы его использования для никеля, меди и железа. Журнал металлов, декабрь, 1989, с. 30-35), чтобы обеспечить возможность непрерывного производства стали из оксида железа. Необходимо подчеркнуть, однако, что до настоящего изобретения никто не рассматривал возможность подачи восстановленного твердого минерального материала, содержащего приблизительно по меньшей мере 50, лучше 60, лучше 70, лучше 75, лучше 80, лучше 90, а еще лучше 95 мас.% карбида 45 железа. В предпочтительных вариантах осуществления изобретения предусматривается использование восстановленного минерального материала 20, содержащего до 98, а лучше около 100 мас.% карбида железа при незначительном содержании других компонентов, таких как оксид железа и др. Содержание карбида железа в минеральном материале 20 может приблизительно составлять от 50 до 100, лучше от 65 до 99, лучше от 80 до 98, а еще лучше от 85 до 97 мас.%. Желательно свести к минимуму содержание оксида железа в восстановленном минеральном материале 20 для уменьшения количества дополнительной энергии, требуемой для поддержания реакционного процесса о закрытом реакторе 10. Оксиды железа, содержащиеся в карбиде железа, могут включать такие оксиды, как Fe_2O_3 , FeO и т.п., или их любую комбинацию.

Для работы предлагаемого устройства перед началом непрерывной подачи предварительно восстановленного минерального материала 20 в закрытый реактор 10 необходимо иметь ванну 12 расплавленного минерального материала. Такая первоначальная ванна может быть получена различными способами. Для первоначальной загрузки реактора 10 может использоваться восстановленный минеральный материал 20, находящийся в твердом виде. При этом, однако, потребуется подача большого количества тепла, которую будет трудно осуществить. Первоначальная порция подаваемого материала может быть переведена в расплавленное состояние с помощью подачи тепла от внешнего источника. Лучше всего, однако, создавать первоначальную ванну 12 расплавленного материала, используя металлический лом (в основном стальной, железный и т.п.), который расплавляют, формируя ванну. В другом варианте тепло можно подводить к твердому восстановленному материалу 20 от внешнего источника во время подачи этого материала в реактор 10. В общем случае для осуществления изобретение может быть использована любая система подачи тепла, достаточного для образования первоначальной ванны 12 расплавленного материала в реакторе 10.

Кислород, являющийся необходимым реагентом в предлагаемом устройстве, сдувается в ванну 12 расплавленного материала о реакторе 10 для облегчения протекания реакции между кислородом и карбидом железа с образованием оксида углерода. Целесообразно, чтобы количество кислорода 21, вдуваемого через разные инжекторы 24 под поверхность ванны 12, было неодинаковым по длине реактора 10, чтобы компенсировать увеличение окислительного потенциала слоев 14 и 16 металла и шлака у выходного конца 39 реактора 10 по сравнению с окислительным потенциалом, имеющим место у его входного конца 40.

Оксид углерода, образующийся в реакторе 10, переходит из ванны 12 в паровое пространство 17 реактор;. В соответствии с предпочтительным вариантом осуществления этот оксид углерода в паровом пространстве 17 вступает в экзотермическую реакцию с кислородом, в результате чего образуется углекислый газ. Источником поступления кислорода для протекания такой реакции может быть излишний кислород, вдуваемый под поверхность ванны 12, что маловероятно, и/или кислород 23, вдуваемый через инжекторы 26.

Тепло, выделяющееся в результате реакции между оксидом углерода и кислородом с образованием углекислого газа, частично передается обратно в ванну 12, поддерживая протекание реакций в реакторе 10. Углекислый газ может выходить из парового пространства 17 через средства 35 отвода газообразных продуктов реакции. Углекислый газ, образующийся в паровом пространстве 17 и несущий тепловую энергию не поглощенную ванной 12 может быть использован для утилизации этой энергии. В соответствии с изобретением углекислый газ, находящийся в паровом пространстве 17, подается через средства 35 отвода газов в отводной трубопровод 15 и затем в подогреватель 6, где передает тепловую энергию твердому восстановленному минеральному материалу 20, подаваемому в реактор 10. Подогреватель 6 может быть выполнен в виде печи с двойными стенками, хотя возможно и использование подогревателя другой конструкции, позволяющей передавать тепловую энергию от горячего углекислого газа минеральному материалу, подаваемому в реактор.

Количество оксида углерода, образующееся в результате реакции карбида железа с кислородом, вдуваемым под поверхность ванны 12, будет изменяться в зависимости от соотношения карбида и оксида железа в подаваемом восстановленном материале 20 и требуемого содержания углерода в получаемом сплаве. Таким образом, количество оксида углерода, которое может вступить в экзотермическую реакцию с кислородом с образованием углекислого газа, будет зависеть от концентрации карбида железа в подаваемом материале. Целесообразно, чтобы отношение массы карбида железа к массе оксида железа в подаваемом материале приблизительно составляло 2:1, лучше 4:1, лучше 8:1, лучше 10:1, лучше 15:1, а еще лучше 18:1 или больше. В большинстве

предпочтительных вариантов осуществления изобретения отношение содержания карбида железа к содержанию оксида железа оказывается достаточным для подачи в реактор такого количества углерода, при котором в процессе последующей реакции получения углекислого газа из оксида углерода обеспечивается выделение количества тепла, достаточного для устранения необходимости в дополнительном поступлении тепла от внешнего источника для поддержания реакции между карбидом и оксидом железа и других реакций в реакторе 10. Работа с использованием внешнего источника тепла возможна. Однако можно считать, что устойчивый самоподдерживающийся процесс внутри реактора 10 вполне достижим.

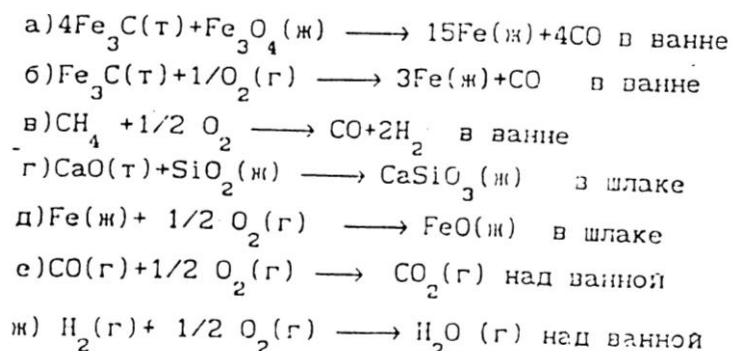
Таким образом, твердый восстановленный минеральный материал 20 можно железоуглеродистый сплав 30 непрерывно удалять с другого конца 39 реактора 10. В реакторе 10 будет образовываться слой 16 шлака, располагающийся над слоем 14 расплавленного железоуглеродистого сплава. Шлак 42 можно непрерывно удалять из реактора 10 со стороны его входного конца 40. Основной оксид будет эффективно формировать из примесей в металлическом материале слоя 14 сплава слой 16 шлака, имеющий малую вязкость и низкую температуру плавления.

На фиг.3 показан предпочтительный вариант осуществления способа непрерывного производства железоуглеродистого сплава. Такой способ включает следующие операции. Во-первых, использование для осуществления реакции в расплавленном восстановленном минеральном материале закрытого реактора 10, выполненного с возможностью ограничения поступления в него газов из атмосферы и отвода из него газообразных продуктов реакции. В реакторе 10 находится ванна 12 расплавленного металлического материала и имеется паровое пространство 17, о которое поступают газообразные продукты реакции, протекающей в ванне 12. Реактор 10 имеет входной конец 40, со стороны которого осуществляется подача материала, и выходной конец 39, со стороны которого удаляется железоуглеродистый сплав. Во-вторых, в ванну 12 расплавленного материала, находящуюся в реакторе 10, непрерывно подают твердый восстановленный минеральный материал 20. Третья операция предусматривает одновременную подачу основного оксида 30 в ванну 12. Четвертая операция предусматривает одновременное вдувание кислорода 21 в окружении защитного углеводорода, например метана, в ванну 12. Пятая операция предусматривает одновременное вдувание кислорода 23 в паровое пространство 17 реактора 10. Шестая операция предусматривает непрерывное удаление шлака со стороны входного конца 40 реактора 10. Восьмая операция предусматривает подачу горячего углекислого газа из парового пространства 17 реактора 10 для нагрева твердого восстановленного, минерального материала 20 в подогревателе 6 перед подачей этого материала в реактор 10. Остальные операции и их модификации, описанные выше и осуществляемые в соответствии с изобретением и известными техническими решениями, также охватываются настоящим изобретением.

Были выполнены теоретические термохимические расчеты, касающиеся производства железоуглеродистого сплава в соответствии с описанным способом. Как мы полагаем, эти расчеты дают представление о химических и термодинамических процессах, которые должны происходить при практической реализации изобретения.

Эти расчеты проведены для случая производства 1000 кг железоуглеродистого сплава из соответствующих количеств реагентов определяемых исходя из баланса массы во всей системе. Расчет реагентов производится также исходя из предположения, что в реакторе протекают стехиометрически сбалансированные реакции, указанные ниже. За перечнем реакций следует краткое изложение других условий и предположений, используемых при расчете теоретического термохимического процесса в реакторной системе. Приводимые ниже расчеты, по-видимому, являются верными, однако для полной надежности необходима экспериментальная проверка.

Реакции, предположительно имеющие место в реакторе



Другие используемые предположения и основные условия

1. Термохимические расчеты были сделаны для двух предполагаемых составов подаваемого восстановленного минерального материала (%):

Состав 1	Состав 2
Fe ₃ C88	Fe ₃ C92
Fe ₃ O ₄ 8	Fe ₃ O ₄ 4
CaO (MgO) 1	CaO (MgO) 1
SiO ₂ 3	SiO ₂ 3

2. Для состава 2 подаваемого материала термохимические расчеты были сделаны для двух температур подаваемого восстановленного материала: 298 К (без подогрева) и 773 К (предварительно нагретый материал).

3. В качестве шлакообразующего оксида в расчетах участвует материал, на 100% состоящий из CaO и подаваемый при температуре 298 К.

4. Метан (естественный газ) используется в качестве защитного экрана для предохранения инжекторов 24, однако он влияет на термохимические расчеты как источник углерода и тепла. Предполагается, что метан не имеет примесей и подается при температуре 298 К.

5. Содержание углерода в получаемом сплаве изменяется дискретно между 100% и процентным содержанием углерода. Расчетная температура сплава на выходе реактора 10 составляет 1873 К.

6. Предполагается, что в шлаке сохраняется то же соотношение между CaO и SiO₂, что и в подаваемом материале: 67 мас.% CaO и 33 мас.% SiO₂. Расчетная температура шлака на выходе реактора составляет 1923 К.

7. Газы, отходящие из реактора 10, могут состоять из O₂, CO, CO₂ и H₂O, дающих в сумме примерно 100% состава отходящих газов. Их относительная концентрация, однако, изменяется в зависимости от состава подаваемого материала. Расчетная температура отходящих газов составляет 200 К.

Стехиометрические соотношения баланса масс.

Для каждого элемента его масса в реакторе должна сохраняться. Таким образом, суммарная масса каждого элемента во всех входящих потоках должна быть равна суммарной массе элемента во всех выходящих потоках. Теоретические балансы массы для каждого элемента в реакторной системе приведены ниже; при этом входящие потоки находятся с левой стороны уравнений, а выходящие - с правой. Поток, в котором находится данный элемент, указан в виде подстрочного индекса.

$$\begin{array}{l}
 W_{\text{Fe}} + W_{\text{Fe}_3\text{C}} = W_{\text{Fe}} + W_{\text{Fe-C}} \\
 \text{подача} \quad \text{подача} \quad \text{сплав} \quad \text{в шлаке, как FeO} \\
 \text{2. Баланс массы для углерода} \\
 W_{\text{C}} = W_{\text{C}} + W_{\text{C}} + W_{\text{C}} \\
 \text{в Fe}_3\text{C} \quad \text{в стали} \quad \text{в CO}_2 \quad \text{в CO} \\
 \text{3. Баланс массы для кислорода} \\
 W_{\text{O}_2 \text{ в Fe}_3\text{O}_4} + W_{\text{O}_2 \text{ вдуваемый через нижние инжекторы}} + W_{\text{O}_2 \text{ вдуваемый в паровое пространство}} + W_{\text{O}_2 \text{ в шлаке, как FeO}} + W_{\text{O}_2 \text{ в отх. газе}} \\
 = W_{\text{O}_2 \text{ в CO}_2 \text{ в отх. газе}} + W_{\text{O}_2 \text{ в CO в отх. газе}} + W_{\text{O}_2 \text{ в H}_2\text{O в отх. газе}} \\
 \text{4. Баланс массы для диоксида кремния} \\
 W_{\text{SiO}_2 \text{ подача}} = W_{\text{SiO}_2 \text{ в шлаке}} \\
 \text{5. Баланс массы для извести} \\
 W_{\text{CaO подача}} + W_{\text{CaO в добавленном основном оксиде}} = W_{\text{CaO в шлаке}}
 \end{array}$$

6. Баланс массы для водорода

$$W_{\text{H}_2} + W_{\text{H}_2} = W_{\text{H}_2} \\
 \text{В CH}_4 \text{ вдуваемом через инжекторы} \quad \text{в H}_2\text{O в отх. газе}$$

7. Состав шлака (при добавлении CaO для сохранения этого отношения)

$$\left[\frac{\text{мас. \% CaO}}{\text{мас. \% SiO}_2} \right]_{\text{шлак}} = 2,0$$

8. Исходя из равновесия между содержанием углерода в слое 14 расплавленного сплава и содержанием оксида железа (FeO), образующегося в слое 16 шлака, можно предположительно получить следующие соотношения:

% C в стали	%FeO в шлаке
0,05	35
0,10	25
0,20	12
0,40	6
0,80	6

Теоретический баланс тепла.

Общий энергетический баланс для реакторной системы приведен ниже. Для системы в целом энергия должна сохраняться. Сумма всех поступлений и потерь тепла как от изменений температуры материала, так и от освобождения или поглощения энергии в химической реакции должна быть равна нулю. В приведенные уравнения включено также обозначение ΔH п.с.р., соответствующее потерям тепла через стенки реактора в окружающую среду. Расчетная температура сплава на выходе реактора составляет 1873 К.

$$\begin{aligned}
 & (H_{1873} - H_{298}) + (H_{1873} - H_{298}) + \\
 & \quad \text{известь} \\
 & + (H_{1873} - H_{\text{т. вх.}}) + \\
 & \quad \text{Fe}_3\text{C} \\
 & + (H_{1873} - H_{\text{т. вх.}}) + (H_{1873} - H_{\text{т. вх.}}) + \\
 & \quad \text{Fe}_3\text{O}_4 \quad \text{SiO}_2 \\
 & + (H_{1873} - H_{\text{т. вх.}}) + (H_{1873} - H_{298}) + \\
 & \quad \text{Ca} \quad \text{CH}_4 \\
 & + \sum_a^x \Delta H_{\text{р.}} \times_{1873} + \Delta H_{\text{п.с.р.}} + (H_{2000} - H_{1873}) + \\
 & \quad \text{CO} \\
 & + (H_{2000} - H_{1873}) + (H_{2000} - H_{1873}) + \\
 & \quad \text{CO}_2 \quad \text{H}_2\text{O} \\
 & + (H_{2000} - H_{1873}) = \text{шлак} \text{ O}
 \end{aligned}$$

Одновременное решение уравнений баланса массы по пунктам 1-6, а также уравнений баланса энергии, приведенных выше, с учетом баланса оценки термохимического процесса в закрытом реакторе 10. Для решения уравнений две переменные при проведении каждого отдельного расчета фиксировались, а затем изменялись дискретно в ожидаемом рабочем диапазоне. Этими переменными были содержание углерода в сплаве и процент потерь тепла через стенки реактора. Величина потерь тепла через стенки изменялась, принимая значения 5, 10 и 15 % от поступающего тепла, а содержание углерода в сплаве изменялось от 0,1 до 0,4%. Эти изменения отражаются на зависимых переменных, представляющих собой количество дополнительного кислорода, подаваемого в паровое пространство, который превращает разные количества оксида углерода, попадающего ванну 12, в углекислый газ и водорода - в воду. Когда баланс тепла не удовлетворяется (например, нужно больше тепла чем поступает от указанных реакций в реакторе 10), он может быть достигнут путем добавления дополнительного количества оксида углерода для получения углекислого газа. Это показывается в виде отрицательной величины выхода оксида углерода.

На фиг.4-7 графически показаны результаты компьютерных расчетов для этих балансов массы и энергии в указанных диапазонах. График на фиг.4 соответствует расчетам, как указано выше, для подаваемого минерального материала, содержащего 92% карбида железа, 4% оксида железа и 4% примесей. Температура восстановленного минерального материала составляет 773 К. Три кривые, представленные на фиг.4, построены для потерь через стенки реактора, составляющих соответственно 5, 10 и 15% от выделяющегося тепла. По горизонтальной оси отложено содержание углерода в железоуглеродистом сплаве, изменяющееся от 0,1 до 0,4% для каждой принятой величины потерь. Как отмечалось выше, принятое количество получаемого сплава составляет 1000 кг. По вертикальной оси отложена величина выхода оксида углерода, удовлетворяющая уравнениям балансов массы и

энергии. Отрицательная величина выхода означает необходимость добавления оксида углерода, реагирующего с кислородом, для достижения баланса энергии. Как видно из фиг.4, баланс энергии достигается во всех трех случаях без необходимости подачи дополнительного тепла от внешнего источника.

Фиг.5 аналогична фиг.4 и иллюстрирует графически результаты решения тех же уравнений баланса массы и энергии в тех же координатах. В этом случае, однако, состав подаваемого восстановленного минерального материала изменен и содержание оксида железа в подаваемом материале увеличено до 8%, содержание примесей оставлено равным 4%. Как и в предыдущем случае подаваемого материала составляет 773 К. а предполагаемое количество получаемого сплава - 1000 кг.

Влияние количества карбида железа, содержащегося в подаваемом материале, на баланс энергии показано графически на фиг.4 и 5. Для многих точек кривых величина выхода оксида углерода оказывается отрицательной, что указывает на необходимость подачи дополнительного топлива или тепла для осуществления требуемых реакций.

На фиг.6 графически показаны результаты расчетов, иллюстрирующие положительный эффект от предварительного нагрева твердого восстановленного минерального материала 20 перед его подачей в реактор 10. Эти расчеты проводились для подаваемого восстановленного материала, содержащего 92% карбида железа, 4% оксида железа и 4% примесей. Принятое количество получаемого сплава составляет 1000 кг, а потери тепла через стенки реактора - 5 и 10% (как указано на графике). Содержание углерода в сплаве изменяется приблизительно от 0,05 до 0,4% и расчеты проводились для температуры подаваемого минерального материала, составляющей 298 К и 773 К. По вертикальной оси отложена величина выхода оксида углерода, получающегося в результате реакций в реакторе 10 отрицательное значение этой величины указывает на необходимость подачи дополнительного тепла или топлива в систему. Использование отходящих газов для предварительного нагрева подаваемого минерального материала во многих случаях обеспечивает достаточное количество энергии для поддержания реакции в реакторе 10.

На фиг.7 показана температура подаваемого восстановленного минерального материала, при которой в реактор 10 не нужно подавать дополнительное тепло или топливо в условиях тепловых потерь, имеющих те же величины, что и принятые выше. Подаваемый восстановленный материал также содержит 92% карбида железа, 4% оксида железа и % примесей, а количество получаемого сплава составляет 1000 кг. Содержание углерода в сплаве, однако, установлено на уровне 0,2%. При величине выхода оксида углерода, равной нулю, считается, что температура подаваемого восстановленного минерального материала обеспечивает поступление достаточного количества энергии для поддержания реакции в реакторе 10 без необходимости в подаче дополнительного количества тепла или топлива от внешних источников.

Приведенное описание изобретения служит лишь для его пояснения и подразумевает возможность различных изменений формы, размеров и компоновки частей или последовательности и времени проведения операций в пределах прилагаемой формулы изобретения.

Формула изобретения

СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТОГО СПЛАВА (ЕГО ВАРИАНТЫ) И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

1. Способ производства железоуглеродистого сплава, включающий восстановление минерального материала с получением карбида железа, подачу его в ванну расплавленного металла, продувку кислорода с образованием окиси углерода,

железоуглеродистого сплава и шлака, отдельный выпуск железоуглеродистого сплава и шлака и отвод газообразных продуктов реакции, *отличающийся* тем, что процесс образования железоуглеродистого сплава, осуществляют в закрытом реакторе, ограничивающем впуск в него атмосферных газов и отвод газообразных продуктов реакции, с непрерывной подачей предварительно восстановленного материала в ванну расплава и непрерывным удалением его части из реактора, при этом предварительно восстановленный материал, загружаемый в закрытый реактор, содержит окисел железа и по меньшей мере 50 мас.% карбида железа, причем содержание карбида железа превышает содержание окисла железа по меньшей мере в два раза.

2. Способ по п.1, *отличающийся* тем, что в реактор в пространство над расплавленной ванной дополнительно подают кислород для дожигания окиси углерода с образованием углекислого газа.

3. Способ по п.2, *отличающийся* тем, что горячий углекислый газ, образующийся в реакторе, отводят и используют для подогрева предварительно восстановленного материала перед подачей его в закрытый реактор.

4. Способ по п.3, *отличающийся* тем, что непрерывно удаляемый железоуглеродистый сплав смешивают с легирующими веществами.

5. Способ по п.4, *отличающийся* тем, что одновременно с предварительно восстановленным материалом в закрытый реактор загружают шлакообразующие вещества и осуществляют непрерывное удаление части шлака из реактора.

6. Способ по п.1, *отличающийся* тем, что карбид железа является единственным углеродсодержащим компонентом предварительно восстановленного материала, а содержание карбида железа в нем превышает по массе содержание окисла железа по меньшей мере в 18 раз.

7. Способ по п.6, *отличающийся* тем, что в пространство закрытого реактора над ванной для дожигания окиси углерода и образования углекислого газа вдувают кислород.

8. Способ по п.7, *отличающийся* тем, что образующийся углекислый газ используют для подогрева предварительно восстановленного материала перед подачей в ванну закрытого реактора.

9. Способ по п.1, *отличающийся* тем, что кислород вдувают в ванну посредством большого числа инжекторов, при этом количество вдуваемого кислорода изменяют по длине реактора с увеличением от входного конца реактора к выходному.

10. Способ по п.9, *отличающийся* тем, что отношение массы карбида железа к массе окисла железа поддерживают на уровне, обеспечивающем в результате дожигания окиси углерода кислородом выделение тепла для осуществления процесса получения железорудистого сплава в автогенном режиме.

11. Способ производства железоуглеродистого сплава, включающий восстановление материала с получением карбида железа, подачу его в ванну расплавленного металла, продувку кислородом с образованием окиси углерода, железоуглеродистого сплава и шлака, отдельный выпуск железоуглеродистого сплава и шлака и отвод газообразных продуктов *отличающийся* тем, что образование железоуглеродистого сплава осуществляют в закрытом реакторе, ограничивающем впуск в него атмосферных газов и отвод газообразных продуктов реакции с непрерывной подачей предварительно восстановленного материала в ванну расплавленного металла и непрерывным удалением части полученного сплава, а предварительно восстановленный материал, загружаемый в реактор, содержит окисел железа и по меньшей мере 85 мас.% карбида железа, при этом карбид железа является единственным углеродсодержащим компонентом предварительно восстановленного материала, а его масса по меньшей мере в 18 раз превышает массу окисла железа, причем в закрытый реактор в пространство над ванной дополнительно вдувают

кислород для дожигания окиси углерода и образования углекислого газа с выделением тепла.

12. Способ по п.11, *отличающийся* тем, что отношение массы карбида железа к массе окисла железа поддерживают на уровне, обеспечивающем в результате дожигания окиси углерода кислородом выделение тепла для осуществления процесса получения железоуглеродистого сплава в автогенном режиме.

13. Способ по п. 12, *отличающийся* тем, что горячий углекислый газ, образующийся в реакторе, отводят и используют для подогрева предварительно восстановленного материала перед подачей его в закрытый реактор.

14. Способ по п. 12, *отличающийся* тем, что часть образующегося железоуглеродистого сплава непрерывно удаляют с выходного конца реактора, а часть шлака - непрерывно и одновременно с входного конца реактора.

15. Способ по п. 14, *отличающийся* тем, что непрерывно удаляемый железоуглеродистый сплав смешивают с легирующими веществами.

16. Способ по п. 12, *отличающийся* тем, что одновременно с предварительно восстановленным материалом в закрытый реактор загружают шлакообразующие вещества и осуществляют непрерывное удаление части шнека из реактора.

17. Способ по п.11, *отличающийся* тем, что кислород вдувают в ванну посредством большого числа инжекторов, при этом количество вдуваемого кислорода изменяют по длине реактора с увеличением от входного конца реактора к выходному.

18. Способ производства железоуглеродистого сплава, включающий восстановление материала с получением карбида железа, подачу его в ванну расплавленного металла, продувку кислородом с образованием окиси углерода, железоуглеродистого сплава и шлака, отдельный выпуск железоуглеродистого сплава и шлака и отвод газообразных продуктов реакции, *отличающийся* тем, что образование железоуглеродистого сплава осуществляют в закрытом реакторе, ограничивающем впуск в него атмосферных газов и отвод газообразных продуктов реакции с непрерывной подачей предварительно восстановленного материала в ванну расплавленного металла и непрерывным удалением части полученного сплава, а предварительно восстановленный материал содержит по меньшей мере 60 мас.% карбида железа, при этом в закрытый реактор в пространство над ванной дополнительно вдувают кислород для дожигания окиси углерода и образования углекислого газа с выделением тепла.

19. Способ по п.18, *отличающийся* тем, что предварительно восстановленный материал содержит окисел железа, при этом содержание карбида железа по меньшей мере в два раза превышает содержание окисла железа.

20. Способ по п.19, *отличающийся* тем, что предварительно восстановленный материал содержит 60 - 100 мас.% карбида железа и до 25 мас.% окисла железа.

21. Способ по п.20, *отличающийся* тем, что отношение массы карбида железа к массе окисла железа поддерживают на уровне, обеспечивающем в результате дожигания окиси углерода кислородом выделение тепла для осуществления процесса получения железоуглеродистого сплава в автогенном режиме.

22. Способ по п.21, *отличающийся* тем, что карбид железа является единственным углеродсодержащим компонентом предварительно восстановленного материала, а содержание карбида железа в нем превышает содержание окисла железа по меньшей мере в 18 раз.

23. Способ по п.22, *отличающийся* тем, что непрерывно удаляемый железоуглеродистый сплав из закрытого реактора смешивают с легирующими веществами.

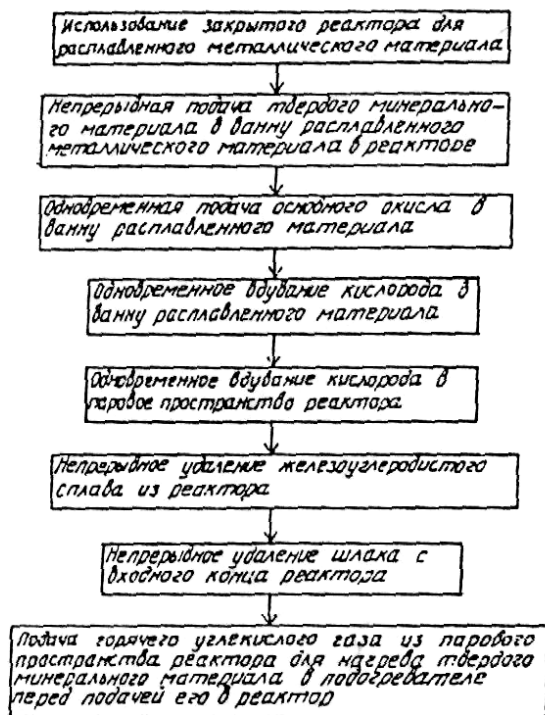
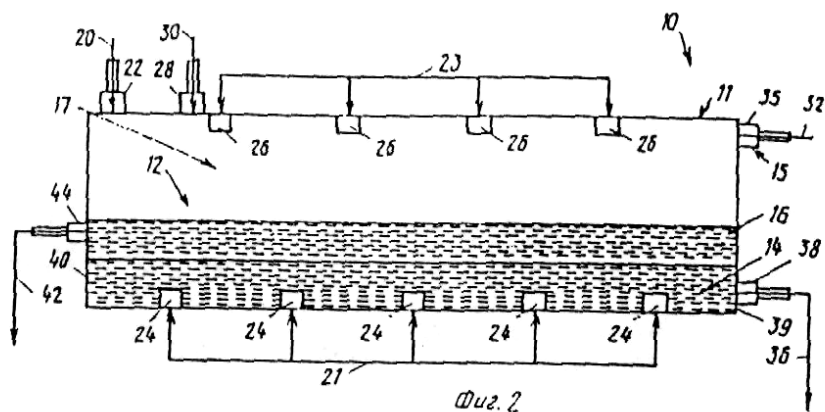
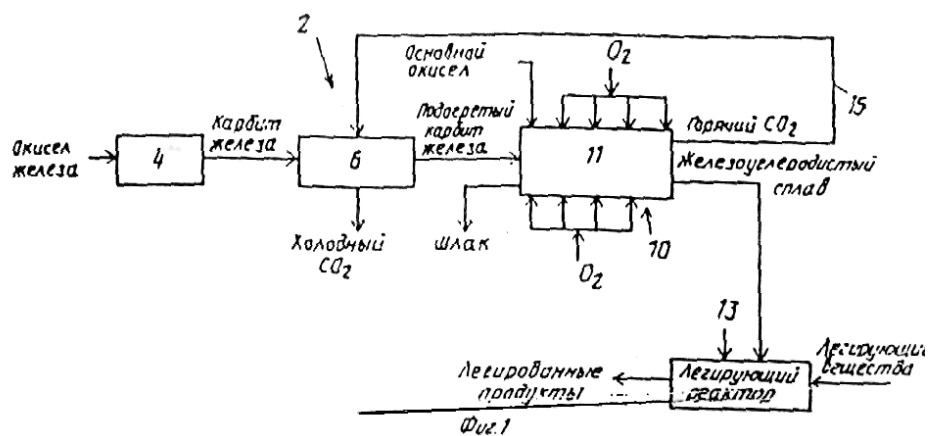
24. Способ по п.22, *отличающийся* тем, что одновременно с предварительно восстановленным материалом в закрытый реактор загружают шлакообразующие вещества и осуществляют непрерывное удаление части шлака из реактора, а кислород

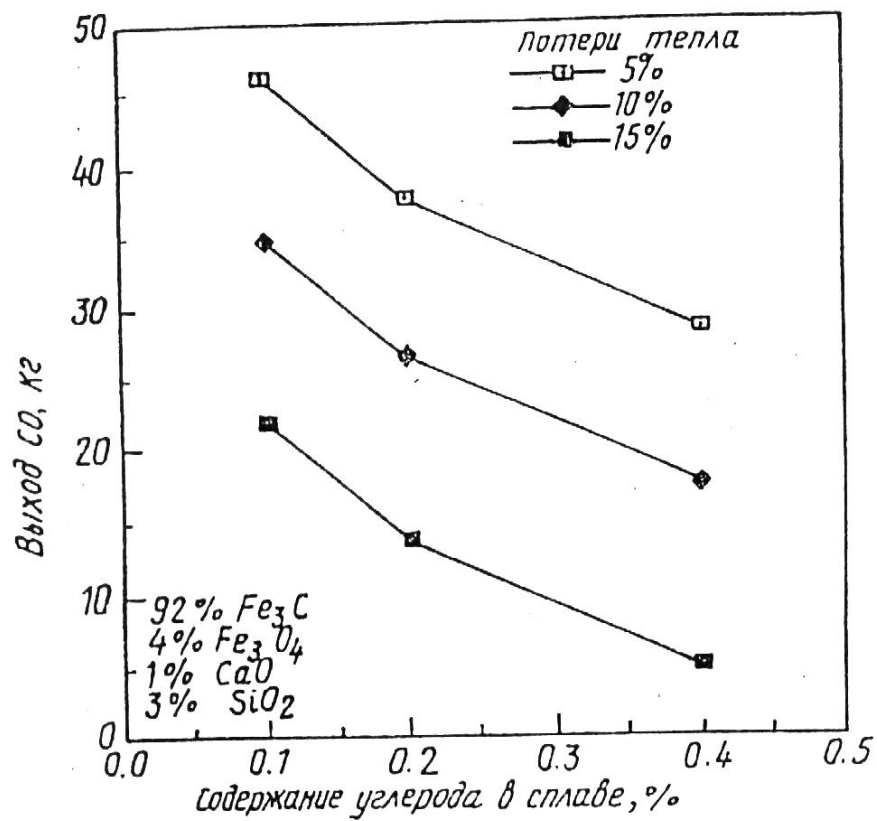
вдувают в ванну посредством большого числа инжекторов с увеличением его количества по длине реактора от входного конца к выходному, при этом образующийся углекислый газ отводят и используют для подогрева предварительно восстановленного материала перед подачей его в закрытый реактор.

25. Устройства для производства железоуглеродистого сплава, содержащее реактор для предварительного восстановления железоокисного материала и соединенный с ним реактор для получения железоуглеродистого сплава, включающий узел ввода предварительно восстановленного материала, узлы выпуска железоуглеродистого сплава и шлака, средства для вдувания кислорода в расплав и отвода газообразных продуктов реакции, отличающееся тем, что реактор для получения железоуглеродистого сплава выполнен закрытым с возможностью ограничения впуска в него атмосферных газов и отвода газообразных продуктов реакции и снабжен дополнительными средствами вдувания кислорода в пространство над ванной расплава.

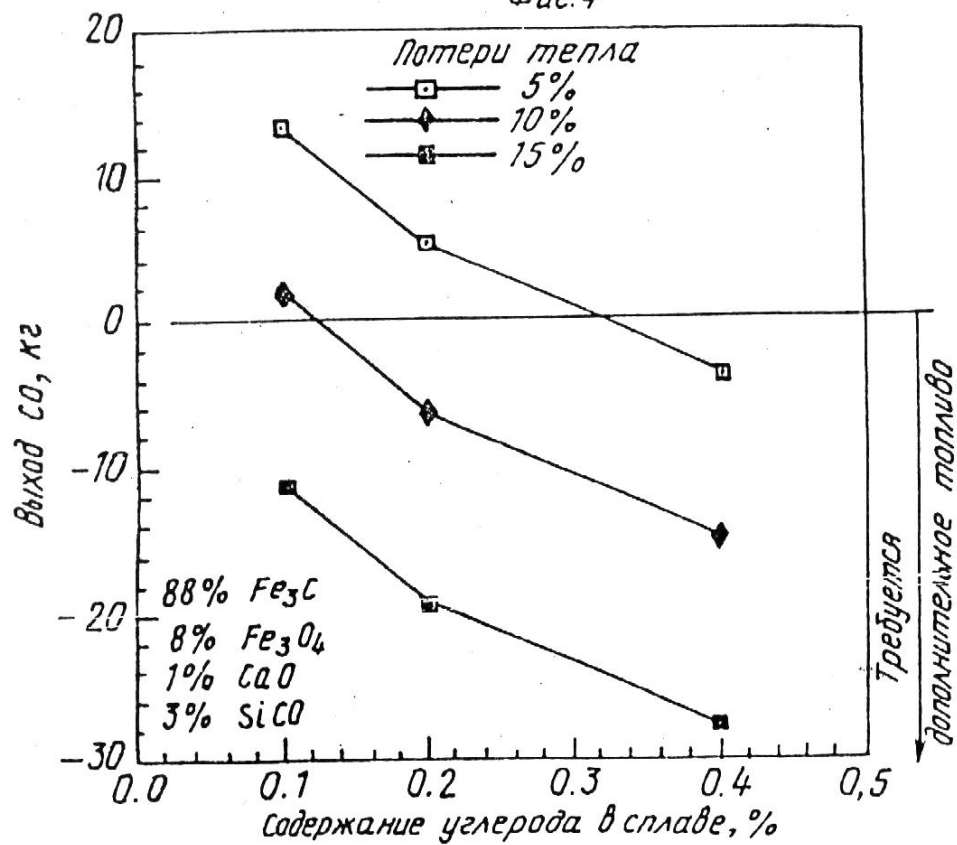
26. Устройство по п.25, отличающееся тем, что оно снабжено подогревателем предварительно восстановленного карбидосодержащего материала, соединенным с реакторами для получения железоуглеродистого сплава средствами для отвода газообразных продуктов реакции.

27. Устройство по п.25, отличающееся тем, что оно дополнительно снабжено соединенным с реактором для получения железоуглеродистого сплава дополнительным узлом, оборудованным средствами ввода легирующих веществ.

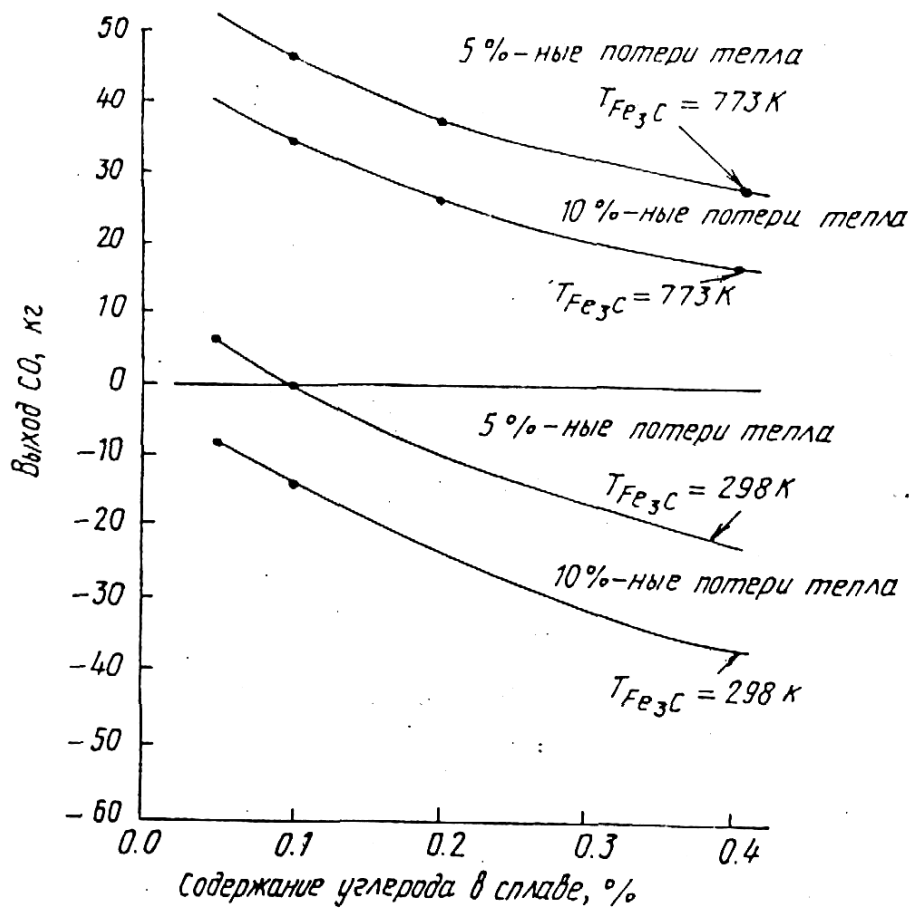




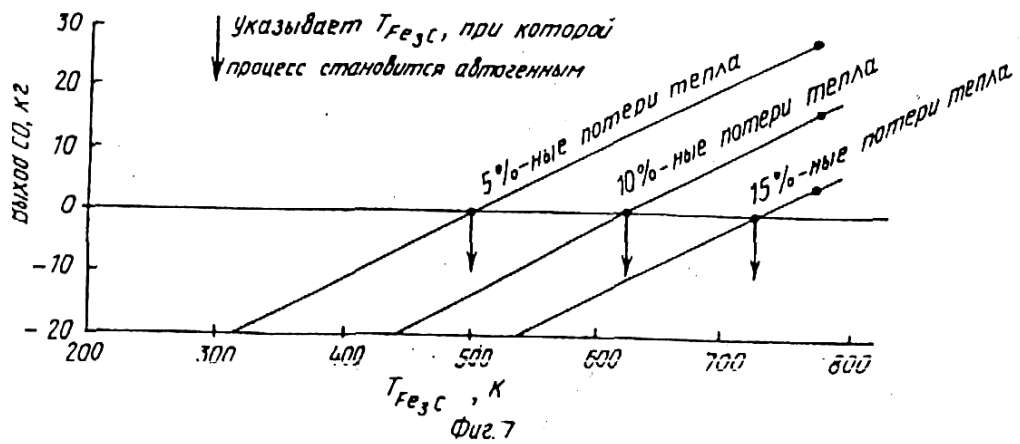
Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7