

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **044686**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.09.22

(51) Int. Cl. **C21B 13/12 (2006.01)**
C21C 5/52 (2006.01)

(21) Номер заявки
202291300

(22) Дата подачи заявки
2020.12.11

(54) **СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ РАСПЛАВЛЕННОЙ СТАЛИ**

(31) **2019-234093**

(56) **WO-A1-2019203278**

(32) **2019.12.25**

JP-A-8225880

(33) **JP**

JP-A-10505637

(43) **2022.08.25**

JP-A-6212227

(86) **PCT/JP2020/046303**

(87) **WO 2021/131799 2021.07.01**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**КАБУСИКИ КАЙСЯ КОБЕ СЕЙКО
СЕ (КОБЕ СТИЛ, ЛТД.) (JP)**

(72) Изобретатель:
Токуда Кодзи, Мимура Цуёси (JP)

(74) Представитель:
Медведев В.Н. (RU)

(57) Представлен способ получения расплавленной стали согласно одному аспекту настоящего изобретения, в котором: железо твердофазного прямого восстановления содержит 3,0 мас.% или более SiO₂ и Al₂O₃ в сумме и 1,0 мас.% или более углерода, отношение металлического железа к общему содержанию железа, содержащемуся в железе твердофазного прямого восстановления, составляет 90 мас.% или более, и содержание Сх избыточного углерода относительно углерода, содержащегося в железе твердофазного прямого восстановления, составляет 0,2 мас.% или более, причем способ включает: стадию отделения шлака, в которой железо твердофазного прямого восстановления нагревают и расплавляют в электрической печи без введения кислорода, для разделения на расплавленную сталь и шлак, и шлак непрерывно выводят из электрической печи, и стадию обезуглероживания вдуванием в электрическую печь общего количества кислорода, вводимого в электрическую печь на расплавленную сталь для обезуглероживания после стадии отделения шлака.

B1

044686

044686

B1

Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение относится к способу получения расплавленной стали.

Предпосылки создания изобретения

Получение железа прямым восстановлением проводили способом, в котором источник оксида железа, такой как железная руда, подвергают твердофазному восстановлению углеродистым материалом или восстановительным газом для получения железа прямого восстановления. Непатентная литература 1 раскрывает способ, в котором кислород непрерывно вдувают во время стадии нагревания и плавления железа твердофазного прямого восстановления в электрической печи (электродуговой печи; EAF) с разделением его на расплавленную сталь и шлак.

В последние годы сократилась добыча так называемой высокосортной железной руды с низким содержанием загрязняющих примесей, таких как пустая порода, так что возросла важность низкосортной железной руды в качестве сырьевого материала для стали.

Однако, железо прямого восстановления, полученное из низкосортной железной руды как сырьевого материала, содержит относительно большое количество пустой породы, так что, когда пустая порода расплавляется в электрической печи, образуется большое количество шлака вместе с расплавленной сталью.

Поскольку содержание железа в шлаке, образованном вместе с расплавленной сталью, является таким высоким, как около 25 мас.%, то чем больше количество шлака, тем больше содержащегося в шлаке железа, и выход расплавленной стали значительно снижается. Поэтому, хотя низкосортная железная руда является более дешевой, чем высокосортная железная руда, количество железной руды, требуемой для получения данного количества расплавленной стали, становится значительно более высоким для низкосортной железной руды, чем для высокосортной железной руды. В результате этого нет существенной выгоды в плане стоимости в отношении применения низкосортной железной руды.

Кроме того, когда образуется большое количество шлака, возрастает количество электроэнергии, необходимой для расплавления железа твердофазного прямого восстановления и шлакообразующего материала, используемого для регулирования основности шлака, и усиливается эрозия огнеупорных футеровок, которые составляют корпус электрической печи. Это также составляет проблему в том, что снижается производительность получения расплавленной стали.

Ввиду вышеизложенного, применение низкосортной железной руды в качестве сырьевого материала для железа твердофазного прямого восстановления в настоящее время ограничено.

Настоящее изобретение было выполнено с учетом такой проблемы, и его цель состоит в создании способа получения расплавленной стали, обеспечивающего возможность получения высокого выхода, даже когда в качестве сырьевого материала для железа твердофазного прямого восстановления применяют низкосортную железную руду.

Список цитированной литературы

Непатентная литература

Непатентная литература 1: R. D. MORARES, Ruben Lule G., Francisco LOPEZ, Jorge CAMACHO и J. A. ROMERO, "The Slag Foaming Practice in EAF and Its Influence on the Steel-making Shop Productivity", ISIJ International, The Iron and Steel Institute of Japan, сентябрь 1995 года, том 35, № 9, стр. 1054-1062.

Сущность изобретения

В результате различных исследований авторы настоящего изобретения нашли, что вышеуказанная цель может быть достигнута следующими изобретательскими подходами.

Способ получения расплавленной стали согласно одному аспекту настоящего изобретения представляет собой способ получения расплавленной стали с использованием железа прямого твердофазного прямого восстановления в качестве исходного материала, в котором:

железо твердофазного прямого восстановления содержит 3,0 мас.% или более SiO_2 и Al_2O_3 в сумме, и 1,0 мас.% или более углерода,

отношение металлического железа к общему содержанию железа, содержащегося в железе твердофазного прямого восстановления, составляет 90 мас.% или более, и

содержание S_x избыточного углерода, заданное нижеследующей формулой (1), относительно углерода, содержащегося в железе твердофазного прямого восстановления, составляет 0,2 мас.% или более, причем способ включает:

стадию отделения шлака, в которой железо твердофазного прямого восстановления нагревают и расплавляют в электрической печи без введения кислорода, для разделения на расплавленную сталь и шлак, и шлак непрерывно выводят из электрической печи, и

стадию обезуглероживания вдуванием в электрическую печь общего количества кислорода, вводимого в электрическую печь на расплавленную сталь для обезуглероживания после стадии отделения шлака,

причем стадию обезуглероживания начинают, когда от 50 до 80% совокупного времени для выполнения стадии отделения шлака и стадии обезуглероживания истекли от начала стадии отделения шлака.

$$S_x = [C] - [FeO] \times 12 \div (55,85 + 16) \div 0,947 \quad (1)$$

В формуле, S_x : содержание избыточного углерода (мас.%), $[C]$: содержание углерода в железе

твердофазного прямого восстановления (мас.%), [FeO]: содержание FeO в железе твердофазного прямого восстановления (мас.%).

Цель, признак и преимущество настоящего изобретения будут разъяснены нижеследующим подробным описанием и сопроводительными чертежами.

Краткое описание чертежей

Фигура представляет технологическую блок-схему способа получения расплавленной стали согласно одному варианту осуществления настоящего изобретения.

Описание вариантов осуществления изобретения

Далее будет конкретно описан способ получения расплавленной стали согласно одному варианту осуществления настоящего изобретения, но настоящее изобретение этим не ограничивается.

Способ получения расплавленной стали.

Способ получения расплавленной стали согласно настоящему варианту осуществления представляет собой способ получения расплавленной стали с использованием железа твердофазного прямого восстановления в качестве исходного материала, в котором железо твердофазного прямого восстановления содержит 3,0 мас.% или более SiO_2 и Al_2O_3 в целом, и 1,0 мас.% или более углерода, отношение металлического железа к общему содержанию железа, содержащегося в железе твердофазного прямого восстановления, составляет 90 мас.% или более, и содержание C_x избыточного углерода, заданное нижеследующей формулой (1), относительно углерода, содержащегося в железе твердофазного прямого восстановления, составляет 0,2 мас.% или более.

$$\text{C}_x = [\text{C}] - [\text{FeO}] \times 12 \div (55,85 + 16) \div 0,947 \quad (1)$$

В формуле, C_x : содержание избыточного углерода (мас.%), [C]: содержание углерода в железе твердофазного прямого восстановления (мас.%), [FeO]: содержание FeO в железе твердофазного прямого восстановления (мас.%).

Кроме того, способ получения расплавленной стали согласно настоящему варианту осуществления, как показано в технологической блок-схеме на фигуре, включает: стадию отделения шлака, в которой железо твердофазного прямого восстановления нагревают и расплавляют в электрической печи без введения кислорода, для разделения на расплавленную сталь и шлак, и шлак непрерывно выводят из электрической печи, и стадию обезуглероживания вдуванием в электрическую печь общего количества кислорода, вводимого в электрическую печь на расплавленную сталь для обезуглероживания после стадии отделения шлака. Стадию обезуглероживания начинают, когда от 50 до 80% совокупного времени для выполнения стадии отделения шлака и стадии обезуглероживания истекли от начала стадии отделения шлака.

Согласно вышеописанной схеме, может быть создан способ получения расплавленной стали с высоким выходом, даже если применяют низкосортную железную руду в качестве сырьевого материала для железа твердофазного прямого восстановления.

Далее будет описано каждое условие способа получения расплавленной стали согласно настоящему варианту исполнения.

Железо твердофазного прямого восстановления.

В способе получения расплавленной стали согласно настоящему варианту исполнения используют железо твердофазного прямого восстановления, имеющее общее содержание SiO_2 и Al_2O_3 3,0 мас.% или более. Например, в качестве железа твердофазного прямого восстановления могут быть использованы источники оксида железа, такие как железная руда, которые восстановлены в твердом состоянии посредством углеродистого материала или восстановительного газа. Способ получения железа твердофазного прямого восстановления не является конкретно ограниченным. Например, могут быть применены способы получения с использованием известных установок для получения железа прямого восстановления, таких как печи с вращающимся подом, восстановительные печи типа печей с подвижным подом, такие как с прямым измельчением, вертикальные печи, такие как шахтные печи, и вращающиеся печи, такие как барабанные печи.

Когда совокупное содержание SiO_2 и Al_2O_3 в железе твердофазного прямого восстановления составляет менее чем 3,0 мас.%, сортность источника оксида железа, такого как железная руда, используемого для получения железа твердофазного прямого восстановления, является высокой. Поскольку такое железо твердофазного прямого восстановления создает малое количество шлака как побочного продукта, расплавленная сталь может быть получена с высоким выходом, даже если отделение шлака и обезуглероживание проводят одновременно в электрической печи. В результате, когда общее содержание SiO_2 и Al_2O_3 в железе твердофазного прямого восстановления составляет менее 3,0 мас.%, нет необходимости в применении способа получения расплавленной стали согласно настоящему варианту осуществления, в котором шлак отделяют перед обезуглероживанием. Поэтому в способе получения расплавленной стали согласно настоящему варианту исполнения используют железо твердофазного прямого восстановления, имеющее общее содержание SiO_2 и Al_2O_3 3,0 мас.% или более.

Содержание углерода в железе твердофазного прямого восстановления регулируют на 1,0 мас.% или более. Когда железо твердофазного прямого восстановления расплавляют в электрической печи, FeO в железе твердофазного прямого восстановления восстанавливается углеродом, содержащимся в железе

твердофазного прямого восстановления, в результате чего образуется газообразный СО. Регулированием содержания углерода в железе твердофазного прямого восстановления на 1,0 мас.% или более может быть генерировано достаточное количество газообразного СО, и тем самым достаточное вспенивание шлака может быть достигнуто образованным газообразным СО. Эффективное нагревание становится возможным при выполнении дугового нагрева в этом вспененном шлаке. С этой точки зрения, содержание углерода в железе твердофазного прямого восстановления предпочтительно составляет 1,5 мас.% или более.

С другой стороны, если содержание углерода в железе твердофазного прямого восстановления является избыточным, увеличивается количество кислорода, вводимого в электрическую печь на стадии обезуглероживания, и количество FeO, вымываемого в шлак, возрастает по мере увеличения количества кислорода. Поэтому содержание углерода в железе твердофазного прямого восстановления предпочтительно составляет 3,0 мас.% или менее.

Отношение металлического железа к общему содержанию железа, находящемуся в железе твердофазного прямого восстановления (далее также называемое "степенью металлизации железа твердофазного прямого восстановления", или просто "степенью металлизации"), регулируют на 90 мас.% или более. Регулированием степени металлизации железа твердофазного прямого восстановления на 90 мас.% или более расплавленная сталь может быть получена с высоким выходом способом получения расплавленной стали согласно настоящему варианту исполнения.

Когда степень металлизации железа твердофазного прямого восстановления составляет менее 90 мас.%, возрастает содержание FeO в железе твердофазного прямого восстановления. Содержание углерода в железе твердофазного прямого восстановления может быть повышено в процессе науглероживания, выполняемом во время получения железа твердофазного прямого восстановления. Однако, существует верхний предел содержания углерода в железе твердофазного прямого восстановления, который осуществим в промышленном масштабе. Поэтому, когда содержание FeO в железе твердофазного прямого восстановления является высоким, FeO, который не восстановлен углеродом, содержащимся в железе твердофазного прямого восстановления, остается в большем количестве на стадии отделения шлака и стадии обезуглероживания. Большая часть невосстановленного FeO вымывается в шлак как есть, и выводится из электрической печи вместе со шлаком. Как описано выше, когда степень металлизации железа твердофазного прямого восстановления составляет менее 90 мас.%, затруднительно получить расплавленную сталь с высоким выходом, даже если выполняют стадию отделения шлака и стадию обезуглероживания согласно настоящему варианту исполнения. Поэтому в способе получения расплавленной стали согласно настоящему варианту осуществления степень металлизации железа твердофазного прямого восстановления регулируют на 90 мас.% или более. Кроме того, когда содержание FeO в железе твердофазного прямого восстановления является высоким, также возрастает количество энергии, необходимое для восстановления FeO на стадии отделения шлака. Поэтому степень металлизации железа твердофазного прямого восстановления более предпочтительно составляет 92 мас.% или более. Чем выше степень металлизации, тем более предпочтительной она становится, так что нет конкретного верхнего предела. Однако, поскольку чрезмерно высокая степень металлизации весьма значительно снижает производительность получения железа твердофазного прямого восстановления в процессе производства железа твердофазного прямого восстановления, степень металлизации предпочтительно составляет 98 мас.% или менее, более предпочтительно 97 мас.% или менее.

Что касается углерода, содержащегося в железе твердофазного прямого восстановления, содержание S_x избыточного углерода, заданное в вышеуказанной формуле (1), регулируют на 0,2 мас.% или более. Содержание S_x избыточного углерода представляет собой количество остающегося углерода (избыточного углерода), когда весь FeO, содержащийся в железе твердофазного прямого восстановления, восстановлен углеродом, содержащимся в железе твердофазного прямого восстановления. Регулированием содержания S_x избыточного углерода на 0,2 мас.% или более, когда железо твердофазного прямого восстановления расплавляют в электрической печи, весь FeO, содержащийся в железе твердофазного прямого восстановления, восстанавливается углеродом, содержащимся в железе твердофазного прямого восстановления. Поэтому может быть предотвращено вымывание в шлак FeO, содержащегося в железе твердофазного прямого восстановления.

Избыточный углерод необходим для подавления вымывания в шлак FeO, содержащегося в железе твердофазного прямого восстановления. Содержание S_x избыточного углерода регулируют на 0,2 мас.% или более, чтобы надежно предотвращать вымывание FeO в шлак. Если содержание избыточного углерода S_x является чрезмерным, увеличивается количество кислорода, вводимого в электрическую печь на стадии обезуглероживания, и количество FeO, вымываемого в шлак, возрастает по мере увеличения количества кислорода. Поэтому содержание S_x избыточного углерода предпочтительно составляет 2,0 мас.% или менее.

Далее будет описана каждая стадия способа получения расплавленной стали согласно настоящему варианту исполнения.

Стадия отделения шлака.

На стадии отделения шлака железо твердофазного прямого восстановления нагревают и расплав-

ляют в электрической печи без введения кислорода, разделяют на расплавленную сталь и шлак, и затем шлак непрерывно выводят из электрической печи. В качестве электрической печи возможно применение обычной сталеплавильной электрической печи (электродуговой печи; EAF), которая создает плазму дугового разряда для выполнения нагрева.

Железо твердофазного прямого восстановления загружают в электрическую печь и нагревают для разделения на расплавленную сталь и шлак. Железо твердофазного прямого восстановления, вводимое в электрическую печь, предпочтительно находится в состоянии после получения и перед падениями температуры, для сокращения энергии, требуемой для нагревания. Электрическая печь перед загрузкой железа твердофазного прямого восстановления может быть пустой, но, чтобы обеспечить непрерывное плавление железа твердофазного прямого восстановления, непосредственно в следующем нагреве (следующем получении расплавленной стали после завершения предыдущего цикла получения расплавленной стали), предпочтительно, чтобы расплавленная сталь и шлак содержались в состоянии так называемого горячего зеркала ванны или оставшейся расплавленной стали.

На стадии отделения шлака железо твердофазного прямого восстановления нагревают и расплавляют в электрической печи без введения кислорода. Это обосновано теми фактами, обнаруженными авторами настоящего изобретения в исследовании, что количество FeO, содержащегося в образованном шлаке, может быть сокращено плавлением железа твердофазного прямого восстановления без введения кислорода в электрическую печь, по сравнению с ситуацией, где кислород вводят. Когда кислород вводят в электрическую печь, кислород реагирует с углеродом в железе твердофазного прямого восстановления с образованием газообразного монооксида углерода. В результате этого FeO, содержащийся в железе твердофазного прямого восстановления, не восстанавливается и вымывается как есть в шлак. В дополнение, часть металлического железа (Fe), содержащегося в железе твердофазного прямого восстановления, или часть металлического железа (Fe) в расплавленной стали, также окисляется кислородом с образованием FeO, и этот FeO также вымывается в шлак, так что количество содержащегося в шлаке FeO будет возрастать. С другой стороны, если кислород не вводят в электрическую печь, FeO, содержащийся в железе твердофазного прямого восстановления, восстанавливается избыточным углеродом, содержащимся в железе твердофазного прямого восстановления, и тем самым можно подавить вымывание FeO в шлак. В результате этого содержание железа, выводимого вместе с шлаком, может быть сокращено, и может быть предотвращено снижение выхода расплавленной стали.

На стадии отделения шлака согласно настоящему варианту осуществления "введение кислорода" подразумевает искусственную подачу кислорода, такую как вдувание кислорода или воздуха на расплавленную сталь. Однако, введение кислорода не включает неизбежное вторичное поступление воздуха в печь вследствие, например, втягивания и вентиляции для обработки пыли в электрической печи.

В настоящем варианте осуществления стадию обезуглероживания начинают, в момент от 50 до 80% совокупной продолжительности выполнения стадии отделения шлака и стадии обезуглероживания истекает от начала стадии отделения шлака. То есть, время для исполнения стадии отделения шлака составляет от 50 до 80% общего времени для выполнения стадии отделения шлака и стадии обезуглероживания. Время для выполнения стадии отделения шлака будет описано позже вместе с разъяснением относительно времени для выполнения стадии обезуглероживания.

На стадии отделения шлака температуру расплавленной стали предпочтительно регулируют на величину от 1500 до 1650°C. Регулированием температуры расплавленной стали на 1500°C или выше снижают вязкость шлака, так что расплавленная сталь и шлак могут быть легко разделены, и каждый из расплавленной стали и шлака может быть легко выведен из электрической печи. С другой стороны, регулированием температуры расплавленной стали на 1650°C или ниже можно подавить эрозию огнеупорной футеровки электрической печи. Температура расплавленной стали более предпочтительно составляет 1530°C или выше, и более предпочтительно 1630°C или ниже.

Основность шлака предпочтительно регулируют на величину от 1,4 до 2,0. Основность шлака может быть отрегулирована надлежащим добавлением шлакообразующего материала, такого как негашеная известь или доломит, к железу твердофазного прямого восстановления, с последующим плавлением в электрической печи согласно общему содержанию SiO₂ и Al₂O₃ в железе твердофазного прямого восстановления. Регулированием основности шлака до 2,0 или менее может быть легко обеспечена текучесть шлака, и шлак может быть легко выпущен из электрической печи. Кроме того, когда в качестве огнеупорной футеровки электрической печи применяют основной жаростойкий материал, эрозия огнеупорного материала шлаком может быть предотвращена регулированием основности шлака на значение 1,4 или более. Здесь основность шлака означает массовое отношение CaO к SiO₂ (CaO/SiO₂) в отношении CaO и SiO₂, содержащихся в шлаке. Основность шлака может быть отрегулирована корректированием количества шлакообразующего материала, загружаемого в электрическую печь вместе с железом твердофазного прямого восстановления.

На стадии отделения шлака железо твердофазного прямого восстановления и шлакообразующий материал загружают в электрическую печь, начинают нагревание, и после подтверждения, что шлакообразующий материал полностью расплавился в печи, регулируют открывание шлаковывпускного канала электрической печи для выпуска шлака. Чтобы поддерживать основность шлака на постоянном уровне,

насколько возможно, предпочтительно непрерывно добавлять железо твердофазного прямого восстановления и шлакообразующий материал последовательно от начала до конца стадии отделения шлака, в то же время продолжая нагревание в электрической печи, и более предпочтительно непрерывно добавлять железо твердофазного прямого восстановления и шлакообразующий материал впоследствии в ходе стадии обезуглероживания.

Стадия обезуглероживания.

На стадии обезуглероживания, после стадии отделения шлака, на расплавленную сталь в электрической печи вдувают кислород для снижения содержания углерода в расплавленной стали до предварительно определенного целевого значения. Стадию обезуглероживания начинают, когда от 50 до 80% совокупного времени для выполнения стадии отделения шлака и стадии обезуглероживания истекли от начала стадии отделения шлака, и общее количество кислорода, вводимого в электрическую печь, вдувают на стадии обезуглероживания.

Содержимое электрической печи на стадии обезуглероживания включает расплавленную сталь, полученную на стадии отделения шлака, и оставшийся шлак, который не был удален на стадии отделения шлака. Даже на стадии обезуглероживания, когда железо твердофазного прямого восстановления непрерывно загружают в электрическую печь, железо твердофазного прямого восстановления также составляет часть содержимого. На стадии обезуглероживания кислород вдувают от верхней поверхности или от нижней поверхности расплавленной стали и шлака в этой электрической печи для окисления углерода, содержащегося в расплавленной стали, и удаления углерода в виде монооксида углерода, тем самым снижая содержание углерода в расплавленной стали. Кроме того, также на стадии обезуглероживания, может быть надлежащим образом добавлен шлакообразующий материал, такой как негашеная известь и доломит, если необходимо, согласно составу расплавленной стали, и тому подобному. Регулированием состава шлака посредством шлакообразующего материала загрязняющие примеси, содержащиеся в расплавленной стали, могут быть переведены в шлак, и содержание примесей в расплавленной стали может быть скорректировано до желательного значения.

Стадию обезуглероживания начинают, когда от 50 до 80% совокупного времени для выполнения стадии отделения шлака и стадии обезуглероживания истекли от начала стадии отделения шлака. То есть, продолжительность выполнения стадии обезуглероживания составляет от 20 до 50% совокупного времени для исполнения стадии отделения шлака и стадии обезуглероживания.

Продолжительность выполнения стадии отделения шлака и длительность проведения стадии обезуглероживания могут быть определены, например, согласно общему содержанию SiO_2 и Al_2O_3 , содержащихся в железе твердофазного прямого восстановления. Чем выше общее количество SiO_2 и Al_2O_3 , содержащихся в железе твердофазного прямого восстановления, тем длительнее предпочтительное время выполнения стадии отделения шлака. Это обусловлено тем, что чем длительнее время выполнения стадии отделения шлака, тем больше шлака может быть образовано и выведено на стадии отделения шлака. На стадии обезуглероживания количество железа, вымываемого в шлак, возрастает вследствие введения кислорода в электрическую печь, по сравнению со стадией отделения шлака. Однако, формированием большего количества шлака на стадии отделения шлака общее количество шлака, образованного на стадии обезуглероживания, может быть снижено, и содержание железа, выводимого со шлаком, может быть сокращено, тем самым с возможностью повышения выхода расплавленной стали.

Поэтому в настоящем варианте осуществления продолжительность выполнения стадии отделения шлака регулируют на 50% или более общего времени проведения стадии отделения шлака и стадии обезуглероживания. То есть, время начала стадии обезуглероживания определяют как время, когда от начала стадии отделения шлака истекли 50% или более общей продолжительности выполнения стадии отделения шлака и стадии обезуглероживания. Время начала стадии обезуглероживания предпочтительно составляет время, когда истекли 60% или более общего времени выполнения стадии отделения шлака и стадии обезуглероживания после начала стадии отделения шлака.

С другой стороны, в качестве способа повышения отношения времени выполнения стадии отделения шлака к общему времени проведения стадии отделения шлака и стадии обезуглероживания, существует способ увеличения скорости введения кислорода в электрическую печь, то есть, есть способ сокращения продолжительности выполнения стадии обезуглероживания увеличением количества кислорода в единицу времени. Однако, для этого способа требуется модификация оборудования для улучшения производительности устройства для вдувания кислорода и оборудования для обработки отходящего газа, приводя к повышению затрат на получение расплавленной стали. Соответственно этому, необходимо обеспечивать определенное количество времени для стадии обезуглероживания.

Поэтому в настоящем варианте исполнения продолжительность проведения стадии отделения шлака регулируют на 80% или менее общего времени выполнения стадии отделения шлака и стадии обезуглероживания. То есть, время начала стадии обезуглероживания определяют как время, когда 80% или менее общей продолжительности выполнения стадии отделения шлака и стадии обезуглероживания истекли после начала стадии отделения шлака. Время начала стадии обезуглероживания предпочтительно представляет собой время, когда истекли 75% или менее общей продолжительности выполнения стадии отделения шлака и стадии обезуглероживания после начала стадии отделения шлака.

Общее время выполнения стадии отделения шлака и стадии обезуглероживания может быть определено согласно емкости электрической печи, и, например, может составлять от 40 до 80 мин. В качестве конкретного времени для стадии отделения шлака и стадии обезуглероживания, например, продолжительность стадии отделения шлака может составлять 32 мин, длительность стадии обезуглероживания может составлять 10 мин, и совокупное время может составлять 42 мин, в случае, где количество оставшегося расплавленного металла в электрической печи составляет 48 тонн, количество подаваемого железа твердофазного прямого восстановления составляет 4,7 тонны в минуту, и величина выплавки стали составляет 160 тонн, с использованием электрической печи, имеющей емкость 208 тонн.

На стадии обезуглероживания вводят общее количество кислорода, вдуваемого в электрическую печь. Количество кислорода, вводимого в электрическую печь, представляет собой количество кислорода, требуемое для сокращения количества углерода, содержащегося в расплавленной стали, для обезуглероживания, и регулирования количества углерода, содержащегося в расплавленной стали после обезуглероживания, до предварительно заданного значения. Предварительно определенное содержание углерода в расплавленной стали должно быть, например, равным или большим, чем целевое содержание углерода в литейном материале, полученным заливанием расплавленной стали в форму, и не большим, чем значение, полученное добавлением 0,1 мас.% к целевому содержанию углерода, или равным ему. Целевое содержание углерода в материале отливки может быть отрегулировано до произвольного значения сообразно варианту применения литейного материала.

На стадии обезуглероживания температура расплавленной стали предпочтительно составляет от 1500 до 1650°C. При регулировании температуры расплавленной стали на 1500°C или выше железо твердофазного прямого восстановления, непрерывно загружаемое в электрическую печь, может быть надежно расплавлено, и может быть снижена вязкость шлака, так что расплавленная сталь и шлак могут быть легко выведены из электрической печи без оставления нерасплавленного остатка. Температура расплавленной стали более предпочтительно составляет 1530°C или выше. Кроме того, когда температура расплавленной стали превышает 1650°C, усиливается эрозия жаростойкой футеровки электрической печи, и также возрастает количество электроэнергии, расходуемой на тонну расплавленной стали. Температура расплавленной стали более предпочтительно составляет 1630°C или ниже.

Основность шлака на стадии обезуглероживания не является конкретно ограниченной, но, когда в качестве огнеупорной футеровки в электрической печи применяют основной жаростойкий материал, основность шлака предпочтительно составляет от 1,4 до 2,0, как на стадии отделения шлака, так что может быть предотвращена эрозия огнеупорной футеровки под действием шлака.

Соответственно способу получения расплавленной стали согласно настоящему варианту исполнения, как описано выше, может быть предотвращено снижение выхода расплавленной стали на стадии отделения шлака, и на стадии обезуглероживания может быть получена расплавленная сталь, имеющая предварительно определенное содержание углерода. Поскольку эти стадии могут быть проведены в одной электрической печи, расплавленная сталь может быть эффективно получена с высоким выходом, даже если в качестве сырьевого материала для железа твердофазного прямого восстановления используют низкосортную железную руду.

Настоящее описание раскрывает различные аспекты способа, как описанного выше, и основные способы обобщены ниже.

Как описано выше, способ получения расплавленной стали согласно одному аспекту настоящего изобретения представляет собой способ получения расплавленной стали с использованием железа твердофазного прямого восстановления в качестве исходного материала, в котором:

железо твердофазного прямого восстановления содержит 3,0 мас.% или более SiO_2 и Al_2O_3 в сумме, и 1,0 мас.% или более углерода,

отношение металлического железа к общему содержанию железа, содержащегося в железе твердофазного прямого восстановления, составляет 90 мас.% или более, и

содержание S_x избыточного углерода, заданное нижеследующей формулой (1), относительно углерода, содержащегося в железе твердофазного прямого восстановления, составляет 0,2 мас.% или более,

причем способ включает:

стадию отделения шлака, в которой железо твердофазного прямого восстановления нагревают и расплавляют в электрической печи без введения кислорода, для разделения на расплавленную сталь и шлак, и шлак непрерывно выводят из электрической печи, и

стадию обезуглероживания вдуванием в электрическую печь общего количества кислорода, вводимого в электрическую печь на расплавленную сталь для обезуглероживания после стадии отделения шлака,

причем стадию обезуглероживания начинают, когда от 50 до 80% совокупного времени для выполнения стадии отделения шлака и стадии обезуглероживания истекли от начала стадии отделения шлака.

$$S_x = [C] - [\text{FeO}] \times 12 \div (55,85 + 16) \div 0,947 \quad (1)$$

В формуле, S_x : содержание избыточного углерода (мас.%), $[C]$: содержание углерода в железе твердофазного прямого восстановления (мас.%), $[\text{FeO}]$: содержание FeO в железе твердофазного прямого восстановления (мас.%).

Согласно этой схеме, FeO, содержащийся в железе твердофазного прямого восстановления, восстанавливается избыточным углеродом, содержащимся в железе твердофазного прямого восстановления, на стадии отделения шлака, так что может быть предотвращено вымывание FeO в шлак. Поэтому может быть предотвращено снижение выхода расплавленной стали на стадии отделения шлака. На стадии обезуглероживания количество железа, переносимого в шлак, возрастает вследствие введения кислорода в электрическую печь, сравнительно со стадией отделения шлака. Однако, формированием шлака на стадии отделения шлака общее количество шлака, образованного на стадии обезуглероживания, сокращается, так что на стадии обезуглероживания предотвращается выведение FeO вместе со шлаком. Кроме того, на стадии обезуглероживания может быть снижено содержание углерода в расплавленной стали, с возможностью получения расплавленной стали, имеющей предварительно определенное содержание углерода. Как описано выше, согласно способу получения расплавленной стали, имеющей вышеуказанный состав, может быть получена расплавленная сталь с высоким выходом в ходе вышеуказанных двух стадий, даже если в качестве сырьевого материала для железа твердофазного прямого восстановления используют низкосортную железную руду.

На стадии отделения шлака, проводимой в вышеуказанных условиях, основность шлака может составлять от 1,4 до 2,0, и на стадии обезуглероживания температура расплавленной стали может быть от 1500 до 1650°C.

В результате шлак, имеющий низкое содержание FeO, может быть легко выведен из электрической печи на стадии отделения шлака, так что может быть эффективно получена расплавленная сталь.

Далее настоящее изобретение будет описано более конкретно со ссылкой на Примеры. Нижеследующие примеры не должны толковаться как ограничивающие область изобретения, и настоящее изобретение может быть осуществлено с модификациями, добавленными в пределах области сообразно целям, описанным выше и ниже, и любые из них должны быть включены в пределы технического диапазона настоящего изобретения.

Примеры

Условия испытаний.

С использованием сортов железа твердофазного прямого восстановления, каждый из которых имеет состав, показанный в табл. 1, в качестве сырьевого материала, было проведено компьютерное моделирование в отношении получения расплавленных сталей со следующими номерами 1-3 испытаний в описанной выше сталеплавильной электрической печи (EAF). Железо A1 прямого восстановления было получено из низкосортной железной руды в качестве сырьевого материала, и имело общее содержание SiO₂ и Al₂O₃ 7,63 мас.%. Железо A2 твердофазного прямого восстановления было получено из высокосортной железной руды как сырьевого материала, и имело общее содержание SiO₂ и Al₂O₃ 2,47 мас.%. Степень металлизации составляла 94,0% в каждом случае. Обозначение "Feобщ", указанное в табл. 1, означает общее содержание железа, содержащегося в железе твердофазного прямого восстановления.

Таблица 1

Железо твердофазного прямого восстановления	Компонентный состав (мас.%)						SiO ₂ +Al ₂ O ₃	Степень металлизации (%)
	Feобщ	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	C		
A1	88,3	7,63	0,00	0,47	0,51	1,5	7,63	94,0
A2	93,1	1,72	0,75	0,89	0,34	1,5	2,47	94,0

Тест 1.

Тест 1 представляет собой один пример настоящего изобретения. В Тесте 1 испытание проводили с использованием железа A1 твердофазного прямого восстановления. Стадию обезуглероживания начинали, когда истекли 75% общего времени выполнения стадии отделения шлака и стадии обезуглероживания после начала стадии отделения шлака. То есть, продолжительность стадии отделения шлака установили на 75% общего времени выполнения стадии отделения шлака и стадии обезуглероживания, и длительность стадии обезуглероживания установили на 25% общего времени. Кислород на стадии отделения шлака не вводили, но кислород вводили только на стадии обезуглероживания. На стадии обезуглероживания вводили в целом 10,2 норм.м³/тонну кислорода при постоянной величине расхода потока.

Железо твердофазного прямого восстановления при 500°C загружали в сталеплавильную электрическую печь, и непрерывно выводили шлак из сталеплавильной электрической печи открыванием вертикально сдвигаемой шлаковой дверцы, размещенной на стороне выпуска шлака сталеплавильной электрической печи. На стадии обезуглероживания кислород вдували в расплавленную сталь так, что содержание углерода в расплавленной стали было отрегулировано на 0,15 мас.%, и температура расплавленной

стали была отрегулирована на 1630°C.

На стадии отделения шлака и стадии обезуглероживания в качестве шлакообразующего материала использовали негашеную известь и доломит, и основность шлака была отрегулирована на 1,8, как показано в табл. 2.

Тест 2 и Тест 3.

Тест 2 представляет собой сравнительный пример с использованием железа твердофазного прямого восстановления А1, и Тест 3 представляет собой контрольный пример с использованием железа твердофазного прямого восстановления А2. В обоих из Теста 2 и Теста 3 кислород при постоянной величине расхода потока подавали от начала нагревания сталеплавильной электрической печи до конца обезуглероживания. В обоих из Теста 2 и Теста 3 в сталеплавильную электрическую печь загружали железо твердофазного прямого восстановления при 500°C, и содержание углерода в расплавленной стали регулировали до 0,15 мас.%, и температуру расплавленной стали регулировали на 1630°C. В дополнение, в качестве шлакообразующего материала использовали негашеную известь и доломит, и основность шлака была отрегулирована на 1,8, как показано в табл. 2.

Таблица 2

Электрическая печь	Тест 1	Тест 2	Тест 3
Основность шлака	1,8	1,8	1,8
Содержание MgO в шлаке (мас.%)	12	12	12
Содержание FeO в шлаке (мас.%)	10,0	25,0	25,0
Содержание углерода в расплавленной стали (мас.%)	0,15	0,15	0,15
Температура расплавленной стали (°C)	1630	1630	1630
Количество использованного железа прямого восстановления (500°C) (кг/т)	1161	1231	1095
Количество использованной негашеной извести (кг/т)	162	149	19
Количество использованного доломита (кг/т)	44	87	18
Количество использованной электроэнергии (кВт-час/т)	588	542	461
Количество использованного углерода (кг/т)	0	0	0
Количество использованного кислорода (норм.м ³ /т)	10,2	23,2	7,6
Количество полученного шлака (кг/т)	338	456	104
Выход расплавленной стали (%)	96,8	91,9	98,0

Результаты испытаний.

Табл. 2 показала количество исходных материалов и электроэнергии, использованных для получения расплавленной стали в расчете на тонну, количество полученного шлака и выход расплавленной стали. Здесь выход расплавленной стали представляет собой отношение (мас.%) содержания железа, выделенного как расплавленной стали, к содержанию железа, загруженного в сталеплавильную электрическую печь, в составе железа твердофазного прямого восстановления.

Тест 1.

В Тесте 1, поскольку кислород не вводили в сталеплавильную электрическую печь на стадии отделения шлака, среднее содержание FeO в шлаке, выведенном на стадии отделения шлака, составляло 5 мас.%. На стадии обезуглероживания, при введении кислорода, FeO, содержащийся в железе твердофазного прямого восстановления, вымывается в шлак как есть, и вымывается в шлак FeO, вновь образованный в результате окисления металлического железа кислородом, так что среднее содержание FeO в шлаке на стадии обезуглероживания составляло 25,0 мас.%. Среднее содержание FeO во всем шлаке, объединенном из стадии отделения шлака и стадии обезуглероживания, составляло 10 мас.%. Как описано выше, поскольку содержание FeO было относительно низким, на уровне 10 мас.%, общее количество образованного шлака составляло 338 кг/т, что представляло собой количество, которое могло бы быть обработано при работе сталеплавильной электрической печи.

Выход расплавленной стали во всех из стадии отделения шлака и стадии обезуглероживания является таким высоким, как 96,8%, и даже если в качестве сырьевого материала для железа твердофазного прямого восстановления использовали низкосортную железную руду, расплавленная сталь могла бы быть получена с высоким выходом.

Тест 2.

В Тесте 2, поскольку кислород подвели при постоянной величине расхода потока от начала нагревания сталеплавильной электрической печи до конца обезуглероживания, среднее содержание FeO в шлаке от начала нагревания сталеплавильной электрической печи до конца обезуглероживания было высоким, на уровне 25,0 мас.%. Поэтому общее количество образованного шлака было большим, на уровне 456 кг/т, которое было затруднительно обработать с позиции работы сталеплавильной электрической печи. В дополнение, выход расплавленной стали был низким, на уровне 91,9%, поскольку большое количество железа было выведено вместе со шлаком.

Тест 3.

В Тесте 3 в качестве сырьевого материала для железа твердофазного прямого восстановления использовали высокосортную железную руду, так что количество образованного шлака было малым, на уровне 104 кг/т. Поэтому, хотя среднее содержание FeO в шлаке от начала нагревания сталеплавильной электрической печи до конца обезуглероживания было таким высоким, как 25,0 мас.%, содержание железа, выведенного со шлаком, было малым, и выход расплавленной стали составлял 98,0%, который был выше, чем в Тесте 1. В дополнение, количество образованного шлака составляло количество, которое не создавало никаких эксплуатационных проблем.

Обобщение.

Как описано выше, соответственно способу получения расплавленной стали согласно настоящему изобретению подтверждено, что даже если использовали низкосортную железную руду, расплавленная сталь могла бы быть получена с высоким выходом, эквивалентным тому, когда применяют высокосортную железную руду.

Эта заявка основана на Японской Патентной Заявке с серийным № 2019-234093, поданной в Японское Патентное Ведомство 25 декабря 2019 года, содержание которой тем самым включено здесь ссылкой.

Для описания настоящего изобретения изобретение было надлежащим образом и в достаточной мере описано в приведенном выше описании с использованием вариантов осуществления со ссылкой на конкретные примеры и тому подобные. Однако, должно быть понятно, что квалифицированными специалистами в этой области технологии будут легко сделаны изменения и/или модификации вышеизложенных вариантов осуществления. Поэтому, если только изменение или модификация, сделанные квалифицированными специалистами в этой области технологии, не находятся за пределами области пунктов прилагаемой формулы изобретения, такие изменения или модификация должны охватываться областью пунктов прилагаемой формулы изобретения.

Промышленная применимость.

Настоящее изобретение имеет широкую промышленную применимость в технической области, которая относится к способу получения расплавленной стали.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ получения расплавленной стали с использованием железа твердофазного прямого восстановления в качестве исходного материала, в котором:

железо твердофазного прямого восстановления содержит 3,0 мас.% или более SiO₂ и Al₂O₃ в сумме и 1,0 мас.% или более углерода,

отношение металлического железа к общему содержанию железа, содержащемуся в железе твердофазного прямого восстановления, составляет 90 мас.% или более, и

содержание S_x избыточного углерода, заданное следующей формулой (1), относительно углерода, содержащегося в железе твердофазного прямого восстановления, составляет 0,2 мас.% или более, причем способ включает:

стадию отделения шлака, в которой железо твердофазного прямого восстановления нагревают и расплавляют в электрической печи без введения кислорода, для разделения на расплавленную сталь и шлак, и шлак непрерывно выводят из электрической печи, и

стадию обезуглероживания вдуванием в электрическую печь общего количества кислорода, вводимого в электрическую печь на расплавленную сталь для обезуглероживания после стадии отделения шлака,

причем стадию обезуглероживания начинают, когда от 50% до 80% совокупного времени для выполнения стадии отделения шлака и стадии обезуглероживания истекли от начала стадии отделения шлака:

$$S_x = [C] - [FeO] \times 12 \div (55,85 + 16) \div 0,947 \quad (1),$$

в формуле, S_x: содержание избыточного углерода (мас.%), [C]: содержание углерода в железе твердофазного прямого восстановления (мас.%), [FeO]: содержание FeO в железе твердофазного прямого восстановления (мас.%).

2. Способ получения расплавленной стали по п.1, в котором основность шлака регулируют на величину от 1,4 до 2,0 на стадии отделения шлака и температуру расплавленной стали регулируют на вели-

чину от 1500 до 1650°C на стадии обезуглероживания.

