

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **044072**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2023.07.20**

(51) Int. Cl. **C21B 11/10** (2006.01)  
**C21C 5/52** (2006.01)

(21) Номер заявки  
**202291124**

(22) Дата подачи заявки  
**2020.11.11**

---

(54) **СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ РАСПЛАВЛЕННОЙ СТАЛИ**

---

(31) **2019-210829**

(56) JP-A-2003041310  
JP-A-2009074119

(32) **2019.11.21**

(33) **JP**

(43) **2022.08.15**

(86) **PCT/JP2020/042005**

(87) **WO 2021/100565 2021.05.27**

(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) В способе получения расплавленной стали согласно одному аспекту настоящего изобретения железо твердофазного прямого восстановления содержит 3,0 мас.% или более SiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в сумме, 1,0 мас.% или более углерода. Отношение металлического железа к общему содержанию железа, содержащегося в железе твердофазного прямого восстановления, составляет 90 мас.% или более, а содержание избыточного углерода S<sub>x</sub> составляет 0,2 мас.% или более относительно углерода, содержащегося в железе твердофазного прямого восстановления. Способ включает стадию плавления в первой печи от 40 до 100 мас.% железа твердофазного прямого восстановления и разделения расплавленного чугуна, имеющего содержание углерода от 2,0 до 5,0 мас.% и температуру от 1350 до 1550°C, и шлака, имеющего основность от 1,0 до 1,4, и стадию плавления во второй печи остатального железа твердофазного прямого восстановления вместе с расплавленным чугуном, отделенным в первой печи, и вдувания кислорода на расплавленный материал для обезуглероживания с образованием расплавленной стали.

**B1**

**044072**

**044072**

**B1**

### Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее 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. Способ получения расплавленной стали восстановлением железной руды природным газом и плавлением полученного железа прямого восстановления в электрической печи раскрыт в непатентной литературе 1.

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.

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 столь 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 имеет более низкую стоимость на единицу веса, чем высокосортная железная руда, вес железной руды, требуемой для получения расплавленной стали в расчете на единицу веса низкосортной железной руды, становится значительно более высоким, по сравнению с высокосортной железной рудой, и стоимость производства расплавленной стали в расчете на единицу веса из низкосортной железной руды не очень сильно отличается от стоимости при применении высокосортной железной руды.

Как описано выше, применение низкосортной железной руды в качестве сырьевого материала для железа прямого восстановления в настоящее время ограничено, поскольку нет значительного преимущества в затратах вследствие низкого выхода.

Настоящее изобретение было создано 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: Masaaki ATSUSHI, Hiroshi UEMURA, Takashi SAKAGUCHI, "MIDREX (Registered Trademark) Processes" ("Процессы MIDREX (зарегистрированный товарный знак)", R&D Kobe Steel Technical Report ("Технический отчет по исследованиям и разработкам фирмы Kobe Steel"), том 60, № 1, апрель 2010 года, стр. 5-11.

#### 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 твердофазного прямого восстановления в качестве исходного материала, в котором железо твердофазного прямого восстановления содержит 3,0 мас.% или более  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  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 избыточного углерода  $S_x$ , заданное ниже следующей формулой (1), относительно углерода, содержащегося в железе твердофазного прямого восстановления, составляет 0,2 мас.% или более, причем способ включает стадию плавления в первой печи от 40 до 100 мас.% железа твердофазного прямого восстановления, и разделения расплавленного чугуна, имеющего содержание углерода от 2,0 до 5,0 мас.% и температуру от 1350 до 1550°C, и шлака, имеющего основность от 1,0 до 1,4, и стадию плавления во второй печи остального железа твердофазного прямого восстановления вместе с расплавленным чугуном, отделенным в первой печи, и вдувания кислорода на расплавленный материал для безуглероживания с образованием расплавленной стали.

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

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

Цель, признак и преимущество настоящего изобретения будут разъяснены в нижеследующем подробном описании и сопроводительными чертежами.

#### Краткое описание чертежей

Фиг. 1 представляет блок-схему способа получения расплавленной стали согласно одному варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 2 представляет график, показывающий один пример взаимосвязи между количеством углеро-

да, содержащегося в расплавленном чугуна, и общим количеством железа, которое может содержаться в шлаке, находящемся вместе с расплавленным чугуном.

Фиг. 3 представляет вид в вертикальном разрезе электрической печи для выплавки чугуна согласно одному варианту осуществления настоящего изобретения.

#### Описание варианта осуществления изобретения

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

##### Способ получения расплавленной стали

Способ получения расплавленной стали согласно настоящему варианту исполнения 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  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  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 избыточного углерода  $S_x$ , заданное нижеприведенной формулой (1), относительно углерода, содержащегося в железе твердофазного прямого восстановления, составляет 0,2 мас.% или более.

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

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

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

Кроме того, способ получения расплавленной стали согласно настоящему изобретению, как показано в блок-схеме на фиг. 1, включает стадию плавления в первой печи от 40 до 100 мас.% железа твердофазного прямого восстановления, и разделения расплавленного чугуна, имеющего содержание углерода от 2,0 до 5,0 мас.% и температуру от 1350 до 1550°C, и шлака, имеющего основность от 1,0 до 1,4 (далее называемую "стадией в первой печи"), и стадию плавления во второй печи остального железа твердофазного прямого восстановления вместе с расплавленным чугуном, отделенным в первой печи, и вдувания кислорода на расплавленный материал для обезуглероживания с образованием расплавленной стали (далее называемую "стадией во второй печи").

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  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  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. В отношении способа получения железа твердофазного прямого восстановления нет конкретных ограничений, и 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  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в железе твердофазного прямого восстановления составляет менее, чем 3,0 мас.%, сортность источника оксида железа, такого как железная руда, используемая для получения железа твердофазного прямого восстановления, является высокой. Даже если такое железо твердофазного прямого восстановления непосредственно расплавляют во второй печи, количество шлака, образованного в качестве побочного продукта, является малым, так что расплавленная сталь может быть получена с высоким выходом. В результате, когда общее содержание  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в железе твердофазного прямого восстановления составляет менее 3,0 мас.%, нет необходимости в применении способа получения расплавленной стали согласно настоящему варианту исполнения, в котором железо твердофазного прямого восстановления преобразуют в расплавленный чугун в первой печи перед второй печью. Поэтому в способе получения расплавленной стали согласно настоящему варианту исполнения используют железо твердофазного прямого восстановления, имеющее общее содержание  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  3,0 мас.% или более.

Содержание углерода в железе твердофазного прямого восстановления устанавливается как 1,0 мас.% или более. Когда железо твердофазного прямого восстановления расплавляют в первой печи, FeO в железе твердофазного прямого восстановления восстанавливается углеродом, содержащимся в железе твердофазного прямого восстановления, в результате чего образуется газообразный CO. Регулированием содержания углерода в железе твердофазного прямого восстановления на 1,0 мас.% или более

может быть генерировано достаточное количество газообразного CO, и тем самым достаточное вспенивание шлака может быть достигнуто образованным газообразным CO. 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, концентрация углерода в расплавленном чугуна может превышать концентрацию насыщения углеродом. Когда концентрация углерода в расплавленном чугуна превышает концентрацию насыщения углеродом, углерод, который не участвует в реакции восстановления FeO, выводится наружу из печи вместе с шлаком или направляемым на утилизацию отходящим газом. Поэтому содержание углерода в железе твердофазного прямого восстановления предпочтительно составляет 7,0 мас.% или менее, и более предпочтительно 6,0 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"), устанавливают как 90 мас.% или более. Регулированием степени металлизации железа твердофазного прямого восстановления на 90 мас.% или более расплавленная сталь может быть получена с высоким выходом в условиях способа 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 первой печи. Невосстановленный FeO вымывается в шлак как есть, и выводится из первой 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 в первой печи и стадию во второй печи согласно настоящему варианту исполнения. Поэтому в способе получения расплавленной стали согласно настоящему варианту исполнения 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 в стадии в первой печи и в стадии во второй печи. Поэтому степень металлизации железа твердофазного прямого восстановления более предпочтительно составляет 92 мас.% или более. Чем выше степень металлизации, тем более предпочтительной становится степень металлизации, 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 избыточного углерода  $S_x$ , заданное в вышеуказанной формуле (1), регулируют на 0,2 мас.% или более. Содержание избыточного углерода  $S_x$  представляет собой количество остающегося углерода (далее также называемое "избыточным углеродом", когда весь FeO, содержащийся в железе твердофазного прямого восстановления, был восстановлен углеродом, содержащимся в железе твердофазного прямого восстановления). Регулированием содержания избыточного углерода  $S_x$  на 0,2 мас.% или более, когда железо твердофазного прямого восстановления расплавляют в первой 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.

Кроме того, поскольку содержание углерода в расплавленном чугуна может быть повышено избыточным углеродом, можно сократить долю внешнего науглероживания, необходимого для получения расплавленного чугуна с содержанием углерода от 2,0 до 5,0 мас.%. Здесь "внешнее науглероживание" подразумевает введение углерода в печь вместе с железом твердофазного прямого восстановления. С другой стороны, "внутреннее науглероживание" означает, что железо твердофазного прямого восстановления получено содержащим углерод. Такое внутреннее науглероживание выполняют, например, при получении железа твердофазного прямого восстановления. Поскольку внешнее науглероживание является худшим по сравнению с внутренним науглероживанием в плане эффективности, эффективность науглероживания может быть улучшена в целом регулированием содержания избыточного углерода  $S_x$  до 0,2 мас.% или более. Здесь "эффективность науглероживания" подразумевает отношение углерода, растворенного в расплавленном чугуна, к углероду, загружаемому в печь в ходе внешнего науглероживания или внутреннего науглероживания.

Содержание избыточного углерода  $C_x$  предпочтительно составляет 0,2 мас.% или более, и более предпочтительно 0,5 мас.% или более. Если содержание избыточного углерода  $C_x$  является чрезмерным, концентрация углерода в расплавленном чугуна может превышать концентрацию насыщения углеродом. Когда концентрация углерода в расплавленном чугуна превышает концентрацию насыщения углеродом, как описано выше, углерод, который не участвует в реакции восстановления  $FeO$ , выводится наружу из печи вместе с шлаком или направляемым на утилизацию отходящим газом. Поэтому содержание избыточного углерода  $C_x$  предпочтительно составляет 6,0 мас.% или менее, и более предпочтительно 5,0 мас.% или менее.

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

#### Стадия в первой печи

В первой печи расплавляют от 40 до 100 мас.% железа твердофазного прямого восстановления, которое представляет собой исходный материал для расплавленной стали. Доля расплавляемого в первой печи железа твердофазного прямого восстановления может быть определена в зависимости, например, от общего содержания  $SiO_2$  и  $Al_2O_3$ , содержащихся в железе твердофазного прямого восстановления, целевого количества шлака, получаемого из остаточного железа твердофазного прямого восстановления во второй печи, и тому подобного. Предпочтительно, что чем выше совокупное содержание  $SiO_2$  и  $Al_2O_3$ , тем выше доля железа твердофазного прямого восстановления, расплавляемого в первой печи. Это обусловлено тем, что чем выше доля расплавляемого в первой печи железа твердофазного прямого восстановления, тем меньшее количество шлака образуется во второй печи, так что может быть повышен выход расплавленной стали. С другой стороны, если доля расплавляемого в первой печи железа твердофазного прямого восстановления увеличена сверх необходимой, возрастает количество электрической энергии, используемой на 1 тонну расплавленной стали, совокупно в стадии в первой печи и стадии во второй печи. Поэтому доля расплавляемого в первой печи железа твердофазного прямого восстановления предпочтительно составляет 45 мас.% или более, и более предпочтительно 50 мас.% или более. Доля железа твердофазного прямого восстановления, расплавляемого в первой печи, предпочтительно составляет 95 мас.% или менее, более предпочтительно 90 мас.% или менее.

В качестве первой печи может быть применена, например, электрическая печь для выплавки чугуна, описываемая далее.

Железо твердофазного прямого восстановления загружают в первую печь и нагревают, и при необходимости добавляют шлакообразующие материалы, такие как негашеная известь и доломит, сообразно общему содержанию  $SiO_2$  и  $Al_2O_3$  в железе твердофазного прямого восстановления. В дополнение, при необходимости проводят внешнее науглероживание сообразно содержанию углерода в железе твердофазного прямого восстановления, с последующим расплавлением. В результате этого действия разделяют расплавленный чугун, имеющий содержание углерода от 2,0 до 5,0 мас.% и температуру от 1350 до 1550°C, и шлак, имеющий основность от 1,0 до 1,4. Для сокращения количества энергии, необходимой для нагрева, железо твердофазного прямого восстановления, загруженное в первую печь, предпочтительно находится в состоянии до снижения температуры после его получения.

Фиг. 2 представляет график, показывающий один пример взаимосвязи между количеством углерода, содержащегося в расплавленном чугуна, и количеством всего железа, которое может содержаться в шлаке, находящемся вместе с расплавленным чугуна. Как показано в фиг. 2, как правило, чем больше количество углерода, содержащегося в расплавленном чугуна, тем меньше количество общего железа, которое может содержаться в шлаке. То есть, расплавленный чугун, имеющий относительно высокое содержание углерода, содержится в меньшем количестве в шлаке, чем в расплавленной стали, имеющей относительно низкое содержание углерода. В настоящем варианте исполнения расплавленный чугун имеет отношение к расплавленному чугуна, имеющему содержание углерода 2,0 мас.% или более, и расплавленная сталь имеет отношение к расплавленному железу, имеющему содержание углерода менее 2,0 мас.%.

В стадии в первой печи согласно настоящему варианту исполнения, содержание углерода в расплавленном чугуна регулируют на величину от 2,0 до 5,0 мас.%. В результате может быть снижено общее количество железа, которое может содержаться в шлаке, и количество железа, которое переносится в шлак, может быть сокращено. Поэтому количество всего железа, выводимого вместе с шлаком, может быть уменьшено, и может быть предотвращено снижение выхода расплавленного чугуна. Кроме того, в результате этого можно предотвратить снижение выхода расплавленной стали, полученной во второй печи. Содержание углерода в расплавленном чугуна предпочтительно составляет 3,0 мас.% или более.

В первой печи температуру расплавленного чугуна регулируют на величину от 1350 до 1550°C. В результате этого углерод, содержащийся в расплавленном чугуна, может быть растворен до доведения содержания углерода в расплавленном чугуна до величины от 2,0 до 5,0 мас.%. Регулированием температуры расплавленного чугуна на 1350°C или выше снижают вязкость шлака, так что расплавленный чугун и шлак могут быть легко разделены, и каждый из расплавленного чугуна и шлака может быть легко выведен из первой печи. С другой стороны, регулированием температуры расплавленного чугуна на 1550°C или ниже можно подавить эрозию огнеупорной футеровки первой печи. Температура расплавленного чугуна предпочтительно составляет 1400°C или выше. В дополнение, температура расплавленного чугуна

на предпочтительно составляет 1530°C или ниже.

Основность шлака регулируют на величину от 1,0 до 1,4. Регулированием основности до 1,4 или менее может быть обеспечена текучесть шлака, и шлак может быть легко выпущен из первой печи. Кроме того, когда в качестве огнеупорной футеровки первой печи применяют основной жаростойкий материал, эрозия огнеупорного материала шлаком может быть предотвращена регулированием основности шлака на значение 1,0 или более. Здесь основность шлака означает массовое отношение  $\text{CaO}$  к  $\text{SiO}_2$  ( $\text{CaO}/\text{SiO}_2$ ) в отношении  $\text{CaO}$  и  $\text{SiO}_2$ , содержащихся в шлаке. Основность шлака может быть отрегулирована корректированием количества шлакообразующего материала, загружаемого в первую печь вместе с железом твердофазного прямого восстановления.

#### Стадия во второй печи

Во второй печи остальное железо твердофазного прямого восстановления расплавляют вместе с расплавленным чугуном, отделенным в первой печи, и вдувают кислород на расплавленный материал для обезуглероживания расплавленной стали. Поскольку в первой печи должно быть расплавлено от 40 до 100 мас.% железа твердофазного прямого восстановления, остальное железо твердофазного прямого восстановления, расплавляемое во второй печи, составляет от 0 до 60 мас.%. То есть, когда общее количество железа твердофазного прямого восстановления (100 мас.%) расплавляют в первой печи, то во второй печи не должно быть расплавлено никакое количество (0 мас.%) железа твердофазного прямого восстановления.

В отношении второй печи, может быть применена обычная электродуговая печь (EAF), которая создает плазму дугового разряда для выполнения нагрева. Расплавленный чугун, полученный в первой печи, заливают во вторую печь, загружают в нее остальное железо твердофазного прямого восстановления, и затем нагревают и расплавляют расплавленный чугун и железо твердофазного прямого восстановления. В это время, на основе состава железа твердофазного прямого восстановления и тому подобного, к расплавленному материалу, если необходимо, надлежащим образом добавляют шлакообразующий материал, такой как негашеная известь и доломит.

Расплавленный материал, находящийся во второй печи, содержит расплавленный чугун, пополненный расплавлением железа твердофазного прямого восстановления и шлака, образованного из  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , и подобного, содержащихся в железе твердофазного прямого восстановления. Кислород вдувают от верхней поверхности расплавленного материала или от нижней части печи для окисления углерода, содержащегося в расплавленном чугуне, и удаления углерода в виде монооксида углерода. В результате этого получают расплавленную сталь. Кроме того, если необходимо, состав шлака регулируют посредством шлакообразующего материала для переноса примесей, содержащихся в расплавленном чугуне, в шлак, так что содержание загрязняющих примесей в расплавленной стали может быть отрегулировано до желательного значения.

Основность шлака во второй печи не является конкретно ограниченной, но когда основной огнеупорный материал применяют в части второй печи в контакте со шлаком, основность шлака предпочтительно является высокой, например, 1,8, чтобы предотвратить эрозию основного огнеупорного материала.

Кроме того, количество углерода, содержащегося в расплавленной стали после обезуглероживания, может быть отрегулировано до желательного значения согласно варианту применения стали, полученной при затвердевании расплавленной стали.

Кроме того, во вторую печь может быть загружен железный лом в дополнение к расплавленному чугуно, полученному в первой печи, и остальному железу твердофазного прямого восстановления. Более того, все количество расплавленного чугуна, полученного в первой печи, может быть залито во вторую печь как есть. Часть полученного в первой печи расплавленного чугуна охлаждают и отливают с образованием чушкового чугуна, и чушковый чугун добавляют к расплавленному чугуно, полученному в первой печи, и остальному железу твердофазного прямого восстановления, и затем загружают во вторую печь. Кроме того, чушковый чугун может быть продан с предприятия в качестве исходного материала для сталеплавильной печи.

Соответственно способу получения расплавленного чугуна согласно настоящему варианту исполнения, как описано выше, может быть предотвращено снижение выхода расплавленного чугуна в первой печи, и расплавленная сталь может быть получена из расплавленного чугуна во второй печи так, что такая расплавленная сталь может быть получена с высоким выходом, даже если в качестве сырьевого материала для железа твердофазного прямого восстановления используют низкосортную железную руду.

Когда все количество железа твердофазного прямого восстановления расплавляют в первой печи

Как описано выше, когда все количество железа твердофазного прямого восстановления (100 мас.%) расплавляют в первой печи, непосредственно во второй печи не должно быть расплавлено никакое количество (0 мас.%) железа твердофазного прямого восстановления без поступления через первую печь. Поэтому во второй печи проводят обезуглероживание только расплавленного чугуна, отделенного в первой печи. В этом случае, поскольку расплавленный чугун не охлаждается железом твердофазного прямого восстановления, и нагревание расплавленного чугуна не требуется, в качестве второй печи может быть применен конвертер. Это делает возможным сокращение количества энергии, необходимой для получе-

ния расплавленной стали во второй печи. Когда применяют конвертер, шлакообразующий материал загружают в конвертер вместе с расплавленным чугуном, если необходимо, и кислород вдувают в расплавленный чугун по меньшей мере из одной из верхней и нижней сторон для обезуглероживания расплавленного чугуна.

#### Электрическая печь для выплавки чугуна

Далее будет описана электрическая печь для выплавки чугуна (EIF), которая может быть использована в качестве первой печи в способе получения расплавленной стали согласно настоящему варианту исполнения.

Фиг. 3 представляет вид в вертикальном разрезе электрической печи для выплавки чугуна. Электрическая печь 10 для выплавки чугуна представляет собой стационарную плавильную печь ненаклонного типа, в которой плавят железо твердофазного прямого восстановления дуговым нагревом, главным образом составленным тепловым излучением. Далее номера позиций, показанные в чертежах, обозначают 1: железо твердофазного прямого восстановления, 2: расплавленный чугун, 3: шлак, и 5а: электрическая дуга.

Электрическая печь 10 для выплавки чугуна имеет основной корпус 11, который включает в себе железо 1 твердофазного прямого восстановления, расплавленный чугун 2 и шлак 3; электрод 5, размещенный в верхней части основного корпуса 11, для нагревания железа 1 твердофазного прямого восстановления, расплавленного чугуна 2 и шлака 3, находящихся в основном корпусе 11, посредством электрической дуги 5а; загрузочную часть 6 для загрузки железа 1 твердофазного прямого восстановления в основной корпус 11; выпускную часть 7 для выведения газа и пыли, образованных при нагревании железа 1 твердофазного прямого восстановления, расплавленного чугуна 2 и шлака 3; крышечную часть 8, которая покрывает основной корпус 11 сверху; и охлаждающую часть 9, которая охлаждает основной корпус 11. Крышечная часть 8 снабжена сквозным отверстием, через которое проходят электрод 5, загрузочная часть 6 и выпускная часть 7. Кроме того, основной корпус 11 снабжен шлаковывпускным отверстием 11а для выгрузки шлака 3, и леткой 11b, размещенной ниже шлаковывпускного отверстия 11а для выпуска расплавленного чугуна 2 таким образом, чтобы соответственно пронизывать стенку. Шлаковывпускное отверстие 11а и летка 11b могут быть закрыты с помощью пушки для забивки летки, и открыты перфоратором.

Охлаждающая часть 9 имеет первый охлаждающий элемент 9а, размещенный окружающим наружную периферию основного корпуса 11, и второй охлаждающий элемент 9b, размещенный над крышечной частью 8. Каждый из первого охлаждающего элемента 9а и второго охлаждающего элемента 9b имеет конструкцию водяного охлаждения и охлаждает основной корпус 11 и крышечную часть 8. Первый охлаждающий элемент 9а и второй охлаждающий элемент 9b могут иметь конструкцию воздушного охлаждения. Благодаря наличию охлаждающей части 9 основной корпус 11 может быть охлажден, и может быть предотвращена эрозия огнеупорного материала, составляющего основной корпус 11.

Электрическая печь 10 для выплавки чугуна имеет замкнутую конструкцию, которая может поддерживать внутренность печи в предварительно заданной атмосфере. Поэтому части, которые могут снижать воздухопроницаемость в печи, такие как соединительные части между крышечной частью 8 и верхним концом основного корпуса 11, и части, которые приходят в контакт с электродом 5 и выпускной частью 7 крышечной части 8, уплотнены известным способом, таким как обдув азотом или керамическое герметизирующее кольцо. Кроме того, между загрузочной частью 6 и крышечной частью 8 предусмотрена шлюзовая камера 6а, объединяющая затвор для материала из бункера и питатель для выгрузки железа 1 твердофазного прямого восстановления из бункера. Конструкция шлюзовой камеры 6а этим не ограничена.

Далее будет описан способ получения расплавленного чугуна 2 с использованием электрической печи 10 для выплавки чугуна. Железо 1 твердофазного прямого восстановления и, если необходимо, шлакообразующий материал, такой как негашеная известь и доломит, загружают в основной корпус 11 через загрузочную часть 6. После этого подают электроэнергию на электрод 5, и нагревают железо 1 твердофазного прямого восстановления электрической дугой 5 а, образованной из оконечности электрода 5. Когда температура железа 1 твердофазного прямого восстановления возрастает, оксид железа (FeO), содержащийся в железе 1 твердофазного прямого восстановления, сначала восстанавливается углеродом, содержащимся в железе 1 твердофазного прямого восстановления. В это время образуется монооксид углерода, и атмосфера внутри основного корпуса 11 становится восстановительной атмосферой, состоящей главным образом из монооксида углерода. Затем металлическое железо, содержащееся в железе 1 твердофазного прямого восстановления, расплавляется, и углерод, содержащийся в железе 1 твердофазного прямого восстановления, растворяется в расплавленном металлическом железе так, что содержание углерода в металлическом железе повышается с образованием расплавленного чугуна 2. Кроме того, SiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, содержащиеся в железе 1 твердофазного прямого восстановления, расплавляются с образованием шлака 3 как побочного продукта, который плавает на расплавленном чугуне 2. После образования шлака 3 оконечность электрода 5 оказывается внутри шлака 3 для формирования электрической дуги 5а внутри шлака 3.

В то время, как подают электроэнергию на электрод 5, железо 1 твердофазного прямого восстановления, шлакообразующий материал и материал для внешнего науглероживания непрерывно загружают в

основной корпус 11, и количества расплавленного чугуна 2 и шлака 3 постепенно увеличиваются с повышением уровня жидкости. Когда уровень жидкости расплавленного чугуна 2 достигает предварительно определенной высоты ниже шлаковывпускного отверстия 11а, или когда уровень жидкого шлака 3 достигает предварительно определенной высоты выше шлаковывпускного отверстия 11а, открывают шлаковывпускное отверстие 11а для начала выгрузки шлака 3, и регулируют высоту уровня жидкого шлака 3. Уровень жидкого шлака 3 поддерживают выше верхнего конца шлаковывпускного отверстия 11а, чтобы сохранять атмосферу внутри основного корпуса 11. Кроме того, толщину шлака 3 поддерживают по меньшей мере равной или большей, чем предварительно определенная толщина, чтобы электрическая дуга 5а могла образовываться в шлаке 3. В результате этого шлак 3 можно непрерывно выводить из основного корпуса 11, тогда как железо 1 твердофазного прямого восстановления непрерывно подают в основной корпус 11.

Когда уровень жидкого шлака 3 снижается до верхнего конца шлаковывпускного отверстия 11а, или когда толщина шлака 3 достигает вышеупомянутой предварительно определенной толщины, шлаковывпускное отверстие 11а закрывают, и когда уровень жидкости расплавленного чугуна 2 достигает предварительно определенной высоты ниже шлаковывпускного отверстия 11а, или когда уровень жидкого шлака 3 достигает предварительно определенной высоты выше шлаковывпускного отверстия 11а, опять открывают шлаковывпускное отверстие 11а. Следует отметить, что высоту уровня жидкости расплавленного чугуна 2 и толщину шлака 3 оценивают по количеству железа 1 твердофазного прямого восстановления, загружаемого в основной корпус 11.

Кроме того, когда уровень жидкости расплавленного чугуна 2 достигает предварительно определенной высоты выше летки 11b, начинают выгрузку расплавленного чугуна 2, и корректируют высоту уровня жидкости расплавленного чугуна 2. Уровень жидкости расплавленного чугуна 2 поддерживают выше летки 11b, чтобы не выпускать шлак вместе с расплавленным чугуном 2. В результате этого расплавленный чугун 2 можно непрерывно выводить из основного корпуса, тогда как железо 1 твердофазного прямого восстановления непрерывно подают в основной корпус 11.

Когда уровень жидкости расплавленного чугуна 2 снижается до верхнего конца летки 11b, летку 11b закрывают, или когда уровень жидкого шлака 3 достигает предварительно определенной высоты выше шлаковывпускного отверстия 11а, опять открывают летку 11b.

Как описано выше, с использованием вышеуказанной электрической печи для выплавки чугуна как первой печи в способе получения расплавленной стали согласно настоящему варианту исполнения можно непрерывно получать чугун из железа твердофазного прямого восстановления, и он может быть эффективно получен, так, чтобы в целом эффективно получать расплавленную сталь.

Настоящее описание раскрывает различные аспекты способов, как описанных 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  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в сумме, и 1,0 мас.% или более углерода, причем отношение металлического железа к общему содержанию железа, содержащемуся в железе твердофазного прямого восстановления, составляет 90 мас.% или более, и содержание избыточного углерода  $S_x$ , заданное нижеуказанной формулой (1), относительно углерода, содержащегося в железе твердофазного прямого восстановления, составляет 0,2 мас.% или более, причем способ включает стадию плавления в первой печи от 40 до 100 мас.% железа твердофазного прямого восстановления, и разделения расплавленного чугуна, имеющего содержание углерода от 2,0 до 5,0 мас.% и температуру от 1350 до 1550°C, и шлака, имеющего основность от 1,0 до 1,4, и стадию плавления во второй печи остального железа твердофазного прямого восстановления вместе с расплавленным чугуном, отделенным в первой печи, и вдувания кислорода на расплавленный материал для обезуглероживания с образованием расплавленной стали.

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

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 конфигурации, количество всего железа, которое может содержаться в отделенном шлаке, может быть снижено в первой печи, и может быть сокращено общее количество железа, которое выводится вместе с шлаком. Поэтому может быть предотвращено снижение выхода расплавленного чугуна в первой печи, и расплавленная сталь может быть получена из расплавленного чугуна во второй печи. Таким образом, даже если в качестве сырьевого материала для железа твердофазного прямого восстановления применяют низкосортную железную руду, расплавленная сталь может быть получена с высоким выходом.

В первой печи, имеющей вышеуказанную конфигурацию, железо твердофазного прямого восстановления может быть расплавлено посредством электрической дуги, и расплавленный чугун и шлак со-

ответственно могут непрерывно выгружаться из первой печи.

В результате этого в первой печи может быть эффективно получен расплавленный чугун, так что расплавленная сталь может быть эффективно получена способом получения в целом.

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, которые внесены в пределах области, соответствующей описанным выше и ниже целям, и любая из них должна быть включена в пределы технического диапазона настоящего изобретения.

### Примеры

Условия испытаний.

Провели компьютерное моделирование в отношении получения расплавленной стали нижеследующих испытаний с номерами 1-3, с использованием электрической печи для выплавки чугуна (первой печи), и электродуговой печи (второй печи), описанной выше, и с использованием сортов железа твердофазного прямого восстановления, каждый из которых имеет состав, показанный в табл. 1, в качестве исходного материала. Железо А1 твердофазного прямого восстановления было получено из низкосортной железной руды в качестве сырьевого материала, и имело общее содержание  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  7,63 мас.%. Железо А2 твердофазного прямого восстановления было получено из высокосортной железной руды как сырьевого материала, и имело общее содержание  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  2,47 мас.%. Степень металлизации составляла 94,0% в каждом случае. Обозначение "Fe общ", указанное в табл. 1, означает общее содержание железа, содержащегося в железе твердофазного прямого восстановления.

Таблица 1

Железо твердо- фазного прямого восстановления	Компонентный состав (мас.%)						$\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$	Степень металлизации (%)
	Feобщ	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	C		
A1	88,3	7,6	0,0	0,4	0,5	1,5	7,63	94,0
		3	0	7	1			
A2	93,1	1,7	0,7	0,8	0,3	1,5	2,47	94,0
		2	5	9	4			

Тест 1.

Тест 1 представляет собой один пример настоящего изобретения. В тесте 1 испытание проводили с использованием железа А1 твердофазного прямого восстановления. В первой печи 70 мас.% железа твердофазного прямого восстановления преобразовали в расплавленный чугун. Во второй печи остальное железо твердофазного прямого восстановления расплавляли вместе с чугуном, полученным в первой печи, и затем проводили обезуглероживание для получения расплавленной стали.

В первой печи железо твердофазного прямого восстановления при 500°C загружали в электрическую печь для выплавки чугуна, и содержание углерода в расплавленном чугуне было отрегулировано на 3,0 мас.%. Во второй печи железо твердофазного прямого восстановления при 25°C загружали в электродуговую печь, и содержание углерода в расплавленной стали было отрегулировано на 0,05 мас.%.

В обеих из первой печи и второй печи негашеную известь и доломит применяют как шлакообразующий материал, и, как показано в табл. 2 и 3, основность шлака была отрегулирована на 1,3 в первой печи и 1,8 во второй печи. Температура расплавленного чугуна в первой печи является более низкой, чем температура расплавленной стали во второй печи, и содержание FeO в шлаке также является низким, так что нагрузка на основной огнеупорный материал снижена благодаря возможности снизить основность шлака в первой печи.

Тест 2 и тест 3.

Тест 2 и тест 3 являются сравнительными примерами. Испытание проводили с использованием железа А1 твердофазного прямого восстановления в тесте 2 и железа А2 твердофазного прямого восстановления в тесте 3. В обоих из теста 2 и теста 3 все (100 мас.%) железо твердофазного прямого восстановления расплавляли во второй печи и проводили обезуглероживание для получения расплавленной стали. Поэтому в тесте 2 и тесте 3 первую печь не использовали.

В обоих из теста 2 и теста 3 железо твердофазного прямого восстановления при 500°C загружали в электродуговую печь, и содержание углерода в расплавленной стали было отрегулировано на 0,05 мас.%. В дополнение, негашеную известь и доломит применяли как шлакообразующий материал, и основность шлака была отрегулирована на 1,8, как показано в табл. 3.

Таблица 2

Первая печь	Тест 1
Основность шлака	1,3
Содержание MgO в шлаке (мас.%)	15
Содержание FeO в шлаке (мас.%)	1,0
Содержание углерода в расплавленном чугуна (мас.%)	3,0
Температура расплавленного чугуна (°C)	1530
Количество использованного железа прямого восстановления (500°C) (кг/т)	1098
Количество использованной негашеной извести (кг/т)	88,3
Количество использованного доломита (кг/т)	55,4
Количество использованного углерода (кг/т) (внешнее науглероживание)	28,50
Количество использованного кислорода (норм.м <sup>3</sup> /т)	0
Количество использованной электроэнергии (кВт/час)	591,1
Количество полученного шлака (кг/т)	237
Выход расплавленного чугуна (%)	99,8

Таблица 3

Вторая 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.%)	25,0	25,0	25,0
Содержание углерода в расплавленной стали (мас.%)	0,05	0,05	0,05
Температура расплавленной стали (°C)	1630	1630	1630
Количество использованного расплавленного чугуна (1300°C)	744,23	0	0
Количество использованного железа прямого восстановления (25°C) (кг/т)	355,1	0	0
Количество использованного железа прямого восстановления (500°C) (кг/т)	0	1231	1095
Количество использованной негашеной извести (кг/т)	54,9	149,4	19,3
Количество использованного доломита (кг/т)	34	87,0	18,4
Количество использованной электроэнергии (кВт/час)	203,9	542,5	461,5
Количество использованного углерода (кг/т) (внешнее науглероживание)	0	0	0
Количество использованного кислорода (норм.м <sup>3</sup> /т)	31,7	23,2	7,6
Количество полученного шлака (кг/т)	169	456	104
Выход расплавленной стали (%)	96,8	91,9	98,0

Результаты испытаний.

Табл. 2 показала количество исходных материалов и электроэнергии, использованных для получения расплавленного чугуна, в расчете на 1 тонну, количество полученного шлака и выход расплавленно-

го чугуна. Табл. 3 показала количество исходных материалов и электроэнергии, использованных для получения расплавленной стали, в расчете на 1 тонну, количество полученного шлака и выход расплавленной стали. Табл. 4 показала количества исходных материалов и электроэнергии, использованных для получения, в расчете на 1 тонну, расплавленной стали, полученной объединением стадии в первой печи и стадии во второй печи, и выход расплавленной стали. Здесь выход расплавленного чугуна представляет собой отношение (мас.%) содержания железа, выделенного как расплавленного чугуна, к содержанию железа, загруженного в первую печь, в составе железа твердофазного прямого восстановления. В отношении выхода расплавленной стали, отношение (мас.%) железа, выделенного в виде расплавленной стали, к железу, загруженному во вторую печь в составе железа твердофазного прямого восстановления и расплавленного чугуна, в тесте 1, и как железа твердофазного прямого восстановления в тесте 2 и тесте 3. В отношении теста 1, "выход всей расплавленной стали" в табл. 4 был рассчитан как процентная доля (мас.%) содержания железа, извлеченного в виде расплавленной стали во второй печи, относительно общего содержания железа, загруженного в первую печь и вторую печь в составе железа твердофазного прямого восстановления.

#### Тест 1.

В тесте 1 содержание углерода в расплавленном чугуне было таким высоким, как 3,0% в первой печи, так что содержание FeO в шлаке было столь низким, как 1,0 мас.%. В результате этого удалось снизить содержание железа, выведенного вместе со шлаком, и расплавленный чугун мог быть получен с высоким выходом 99,8%. Количество шлака, образованного в первой печи, составляло 237 кг/т, которое было количеством, которое не создавало никаких технологических проблем.

Во второй печи содержание углерода в расплавленной стали было снижено до 0,05 мас.%, так что содержание FeO в шлаке было столь высоким, как 25,0 мас.%. Однако количество образованного шлака составляло 169 кг/т, что было значительно меньшим, чем количество 456 кг/т шлака, образованного в тесте 2, в котором все количество того же железа А1 твердофазного прямого восстановления расплавили во второй печи, и удалось снизить количество железа, выведенного со шлаком. В дополнение, количество шлака составляло количество, которое не создавало никаких эксплуатационных проблем.

Выход всей расплавленной стали во всем процессе в первой печи и во второй печи является таким высоким, как 96,7%, 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 содержание углерода в расплавленной стали было снижено до 0,05% во второй печи, так что содержание FeO в шлаке было столь высоким, как 25,0 мас.%. В дополнение, поскольку первую печь не применяли, все количество шлака было образовано во второй печи. В результате этого вместе со шлаком было выведено большое количество железа, и выход расплавленной стали снизился до 91,9%.

В дополнение, количество полученного шлака было столь высоким, как 456 кг/т. Шлак, образованный в таком большом количестве, требует длительного времени для расплавления шлакообразующего материала, и длительное время занимает выгрузка расплавленного шлака из второй печи, что значительно снижает производительность получения расплавленной стали. В дополнение, поскольку большое количество шлака удерживается в печи и расплавляется, необходимо модифицировать оборудование, например, увеличением кожуха печи. Такое большое количество шлака делает затруднительным проведение операции.

#### Тест 3.

В тесте 3 использовали высокосортную железную руду в качестве сырьевого материала для железа твердофазного прямого восстановления, так что количество образованного шлака было столь малым, как 104 кг/т. Поэтому содержание железа, выведенного вместе со шлаком, было малым, и выход расплавленной стали составлял 98,0%, который был выше, чем выход в тесте 1. В дополнение, количество образованного шлака представляло собой количество, которое не создавало никаких технологических проблем.

Таблица 4

	Тест 1 (весь процесс)	Тест 2	Тест 3
Количество всего использованного железа твердофазного прямого восстановления (кг/т)	1172	1231	1095
Выход всей расплавленной стали (%)	96,7	91,9	98,0
Общая использованная электроэнергия (кВт/час)	644	542,5	461,5
Количество использованного углерода (кг/т) (внешнее науглероживание)	21,2	0	0
Количество использованного кислорода (норм.м <sup>3</sup> /т)	31,7	23,2	7,6
Количество использованной негашеной извести (кг/т)	120,6	149,4	19,3
Количество использованного доломита (кг/т)	75,2	87,0	18,4

Резюме.

Как описано выше, соответственно способу получения расплавленной стали согласно настоящему изобретению подтверждено, что даже если используют 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 № 2019-210829, поданной в Японское Патентное Ведомство 21 ноября 2019 года, содержание которой тем самым включено в настоящий документ посредством ссылки.

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 изменение или модификация должны охватываться областью пунктов прилагаемой формулы изобретения.

#### Промышленная применимость

Настоящее изобретение имеет широкую промышленную применимость в технических областях, которые относятся 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 SiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в сумме, 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 избыточного углерода C<sub>x</sub>, заданное нижеследующей формулой (1), к углероду, содержащемуся в железе твердофазного прямого восстановления, составляет 0,2 мас.% или более,

причем способ включает

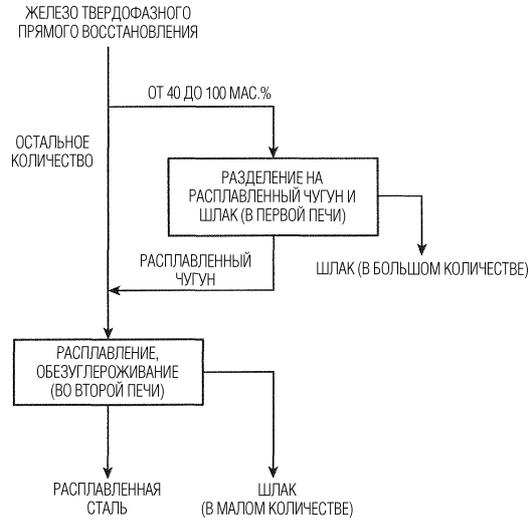
стадию плавления в первой печи от 40 до 95 мас.% железа твердофазного прямого восстановления и разделения расплавленного чугуна, имеющего содержание углерода от 2,0 до 5,0 мас.% и температуру от 1350 до 1550°C, и шлака, имеющего основность от 1,0 до 1,4, и

стадию плавления во второй печи остального железа твердофазного прямого восстановления вместе с расплавленным чугуном, отделенным в первой печи, и дувания кислорода на расплавленный материал для обезуглероживания с образованием расплавленной стали,

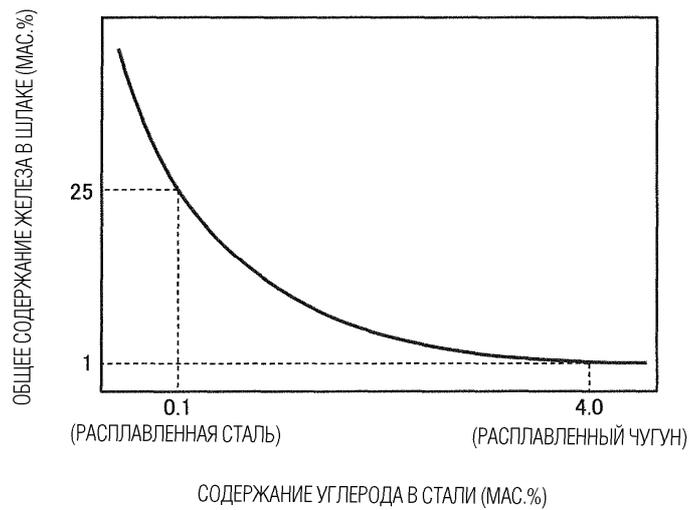
$$C_x = [C] - [FeO] \times 12 \div (55,85 + 16) \div 0,947 \quad (1)$$

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.%).

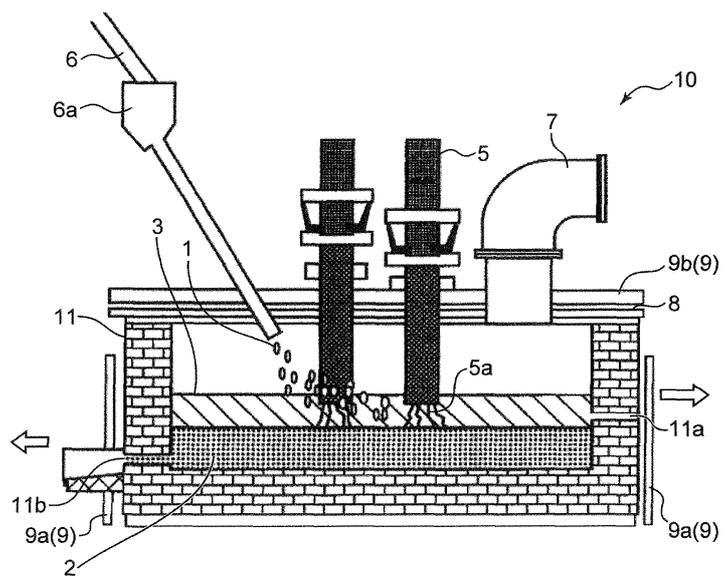
2. Способ получения расплавленной стали по п.1, в котором железо твердофазного прямого восстановления расплавляют электрической дугой в первой печи и расплавленный чугун и шлак непрерывно выводят соответственно из первой печи.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

