

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **033747**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2019.11.21**

(51) Int. Cl. **C21B 11/00** (2006.01)

(21) Номер заявки  
**201800393**

(22) Дата подачи заявки  
**2016.04.06**

---

(54) **СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА ЧУГУНА ПРОЦЕССОМ ЖИДКОФАЗНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ РОМЕЛТ**

---

(31) **2015156791**

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ "МИСиС" (RU)**

(32) **2015.12.29**

(33) **RU**

(72) Изобретатель:

(43) **2018.12.28**

**Роменец Владимир Андреевич,  
Валавин Валерий Сергеевич,  
Похвиснев Юрий Валентинович,  
Макеев Сергей Александрович,  
Зайцев Александр Константинович,  
Симакова Наталия Вячеславовна,  
Федорова Алена Александровна (RU)**

(86) **PCT/RU2016/000194**

(87) **WO 2017/116275 2017.07.06**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ  
"НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**

(56) **KURUNOV I. F. et al. Sostoyanie i perspektivy bezdomennoi metallurgii zheleza. Moskva, Chernetinformatsiya, 2002, p. 129-138  
RU-C1-2542050  
RU-C1-2541239  
US-A-4252560**

---

(57) Изобретение относится к производству чугуна в печах Ромелт. Одновременная загрузка железосодержащих материалов, флюса и фракций угля более 5 мм в жидкую шлаковую ванну печи Ромелт через верхнее загрузочное отверстие. Барботаж жидкой шлаковой ванны и инициирование неполного горения угля достигают путем подачи воздушно-кислородного дутья на нижние фурмы печи Ромелт. Окисление в зоне дожигания CO и H<sub>2</sub> осуществляют путем подачи кислорода на верхние фурмы печи Ромелт. Степень дожигания выходящих из жидкой шлаковой ванны газов поддерживают на уровне 60-85% от максимально возможной степени дожигания путем разделения угля на фракции более 5 мм и менее 5 мм. Фракцию угля менее 5 мм подвергают измельчению до крупности менее 1 мм и подают в жидкую шлаковую ванну через нижние фурмы печи Ромелт вместе с воздушно-кислородным дутьем с интенсивностью 400-1000 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> площади печи на уровне нижних фурм. Тепловой поток из зоны дожигания в жидкую шлаковую ванну обеспечивают в пределах 3-6 МВт/м<sup>2</sup> поверхности жидкой шлаковой ванны. Изобретение обеспечивает уменьшение потери железа со шлаком и исключение возможности неконтролируемого вскипания шлаковой ванны.

---

**033747 B1**

**033747 B1**

Изобретение относится к черной металлургии, а именно к производству жидкого углеродистого полупродукта и чугуна, но может найти применение и в других отраслях промышленности, например в цветной металлургии, производстве стройматериалов и т.д.

Известен способ производства чугуна процессом жидкофазного восстановления Ромелт, включающий непрерывную загрузку в одну шлаковую ванну железосодержащих материалов различного минералогического состава, всего угля, извести, подачу кислорода и кислородсодержащего дутья в зоны выше и ниже уровня шлака, вывод образующегося металла, шлака и газов (Процесс Ромелт / В.А. Роменец [и др.] - М.: МИСиС, Издательский дом "Руда и металлы", 2005. с. 8).

Недостатком этого способа является управление процессом только на основании расчета расхода угля и кислорода по уравнениям материального баланса; при этом плавка осуществляется вне зависимости от гранулометрического состава углей. При этом весь уголь подается через загрузочные отверстия сверху печи на шлаковую ванну. Как показывают практические опыты, при работе печи Ромелт по этой технологии степень дожигания, вычисляемая по составу выходящих из печи углеродсодержащих газов  $\text{CO}_2/(\text{CO}_2+\text{CO})$  не превышает 0,3-0,5 при теоретически возможной величине, близкой к единице. Работа печи Ромелт при низких степенях дожигания существенно увеличивает расходы энергоносителей и снижает производительность. При этом также не осуществляется контроль за количеством тепла, передаваемого шлаковой ванне, и интенсивностью дутья подаваемого на нижние фурмы.

Наиболее близким к предлагаемому изобретению является "Способ управления процессом Ромелт" (RU 2182603, опублик. 20.05.2000 г.), согласно которому в ходе плавки поддерживают и регулируют содержание оксидов железа в шлаке на заданном уровне в зависимости от температуры шлака и состава газа за счет увеличения/уменьшения количества загружаемого угля и увеличения/уменьшения количества кислорода, подаваемого выше уровня расплавленного шлака.

По этому способу управление процессом и производство чугуна осуществляется также вне зависимости от гранулометрического состава угля, и весь уголь загружается сверху печи. При этом также не обеспечиваются высокие степени дожигания газа в печи.

Недостатком этих способов является то, что при загрузке угля сверху на шлаковую ванну, фракции менее 3-5 мм не достигают шлаковой ванны или выносятся из нее, не взаимодействуя с оксидами железа, витают в зоне дожигания и взаимодействуют с образовавшимися при дожигании  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , снижая степень дожигания, количество тепла, выделившегося от дожигания, и передачу тепла в ванну. При этом степень дожигания не превышает 0,3-0,5, и имеет место перерасход кислорода и угля.

По упомянутым выше технологиям не учитывается и не контролируется тепловой поток из зоны дожигания в шлаковую ванну, который должен быть оптимизирован и находиться в определенных пределах. Особенно опасна недооценка этого фактора при выполнении проектных расчетов печей Ромелт, так как без учета этих факторов могут быть получены недостоверные результаты.

В изобретении достигается технический результат, заключающийся в возможности работы печи Ромелт при высоких степенях дожигания и эффективном использовании углей, содержащих мелкие фракции угля, без снижения показателей плавки;

возможности эффективной утилизации мелких фракций угля за счет их вдувания в шлаковую ванну в районе расположения нижних фурм;

уменьшении потери железа со шлаком до величины менее 5% по сравнению с плавкой высокоокисленных материалов классической технологией Ромелт путем увеличения скорости восстановления оксидов железа;

исключении возможности неконтролируемого вскипания шлаковой ванны;

контроле и поддержании на оптимальном уровне теплового потока, передаваемого из зоны дожигания в шлаковую ванну;

контроле и поддержании на необходимом уровне удельного расхода дутья на нижние фурмы.

Технический результат достигается следующим образом.

В способе производства чугуна процессом жидкофазного восстановления Ромелт одновременно загружают железосодержащие материалы, флюсы и фракции угля более 5 мм в жидкую шлаковую ванну печи Ромелт через верхнее загрузочное отверстие. Барботаж жидкой шлаковой ванны и иницирование неполного горения угля достигают путем подачи воздушно-кислородного дутья на нижние фурмы печи Ромелт. Окисление в зоне дожигания  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2$ , выделяющихся из жидкой шлаковой ванны газов, осуществляют путем подачи кислорода на верхние фурмы печи Ромелт. Степень дожигания выходящих из жидкой шлаковой ванны газов поддерживают на уровне 60-85% от максимально возможной степени дожигания путем разделения угля на фракции более 5 мм и менее 5 мм.

Фракцию угля менее 5 мм подвергают измельчению до крупности менее 1 мм и подают в жидкую шлаковую ванну через нижние фурмы печи Ромелт вместе с воздушно-кислородным дутьем с интенсивностью 400-1000  $\text{м}^3/\text{м}^2$  площади печи на уровне нижних фурм. Тепловой поток из зоны дожигания в жидкую шлаковую ванну обеспечивают в пределах 3-6  $\text{МВт}/\text{м}^2$  поверхности жидкой шлаковой ванны.

При этом в качестве железосодержащих материалов используют отходы металлургического производства в виде шламов, пыли, окалины и железные руды.

Также в качестве флюсов используют известь или обожженный доломит или кварцевый песок или

их смесь.

Степень дожигания выходящих из жидкой шлаковой ванны газов определяют по соотношению углеродсодержащих компонентов  $\alpha = \text{CO}_2 / (\text{CO}_2 + \text{CO}) \cdot 100\%$ , где  $\text{CO}_2$  и  $\text{CO}$  - содержание в объемных процентах соответствующих газов после дожигания.

При этом в торцевых и боковых стенах печи Ромелт могут быть установлены дополнительные нижние фурмы.

Количество фракции угля менее 1 мм, подаваемого на дополнительные нижние фурмы, составляет не менее 20% от общего количества загружаемого угля.

Изобретение поясняется чертежом, где приведена схема реализации способа. На чертеже показаны переходной шибер 1, односитный грохот 2, загрузочные желоба 3 и 4 для угля, первый вертикальный конвейер 5, установка 6 для измельчения угля крупности менее 1 мм, второй вертикальный конвейер 7, шихтовый бункер 8 фракций угля более 5 мм, шихтовый бункер 9 фракций угля менее 5 мм, жидкая шлаковая ванна 10, верхние фурмы 11, нижние фурмы 12, верхнее загрузочное отверстие 13.

В известной технологии Ромелт часть мелких частиц угля, загружаемого через верхнее загрузочное отверстие, из-за небольшой относительной плотности угля витает в зоне дожигания над шлаковой ванной, а часть выносится из печи в виде пыли. Этому способствуют значительные газовые потоки как выделенных из ванны газов, так и образующиеся от дутья, подаваемого на верхние фурмы. В качестве примера можно привести расчет скорости газов над шлаковой ванной опытной печи Ромелт. При площади печи на уровне нижних фурм  $20 \text{ м}^2$  выделение газов из шлаковой ванны достигало 40-60 тыс.  $\text{м}^3/\text{ч}$ . Таким образом, учитывая высокую температуру газов, линейную скорость восходящих потоков можно оценить в 5,4 м/с.

Угольная пыль взаимодействует с газовой фазой, что приводит к уменьшению степени дожигания. Это отражается и на выделении тепла от дожигания, т.к. в условиях неполного дожигания и недостатка кислорода уголь горит только до  $\text{CO}$ , а тепловой эффект этой реакции, составляющий 117 кДж/моль, более, чем в два раза меньше, чем тепловой эффект реакции горения  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2$  составляет соответственно 279 кДж/моль и 251 кДж/моль.

Запыленность газа углеродом приведет не только к повышению доли  $\text{CO}$ , но и к перераспределению кислорода между углерод- и водородсодержащими компонентами газовой фазы.

В предлагаемом способе устраняются эти недостатки.

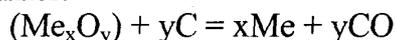
Способ осуществляется следующим образом.

В жидкую шлаковую ванну 10 печи Ромелт одновременно загружают железосодержащие материалы, флюсы и фракции угля более 5 мм через верхнее загрузочное отверстие 13. При этом в качестве железосодержащих материалов используют отходы металлургического производства в виде шламов, пыли, окалины и железную руду. Также в качестве флюсов используют известь или обожженный доломит или кварцевый песок или их смесь.

Одновременно с загрузкой железосодержащих материалов, флюсов и угля на нижние фурмы 12 подают воздушно-кислородное дутье, которое инициирует неполное горение угля и барботаж жидкой шлаковой ванны 10.

Для окисления в зоне дожигания  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2$ , выделяющихся из жидкой шлаковой ванны 10, подают на верхние фурмы 11 печи Ромелт кислород чистотой не менее 80%.

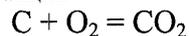
В процессе Ромелт в шлаковой ванне протекают все основные эндотермические реакции восстановления оксидов железа и других металлов:



Единственная экзотермическая реакция неполного горения углерода



не компенсирует дефицит тепла, что приводит к отрицательному тепловому балансу ванны. Полное горение угля в шлаковой ванне до  $\text{CO}_2$  по реакции



невозможно, т.к. в этом случае не будут обеспечиваться термодинамические условия, необходимые для восстановления оксида железа.

При производстве чугуна из влажного железосодержащего материала с общим содержанием  $\text{Fe}_{\text{общ}}$  50% с использованием энергетического угля 65%  $\text{C}_{\text{фикс}}$  затраты тепла в среднем составят примерно 12,3 МДж/кг чугуна с учетом потерь тепла в окружающую среду, в то время как от реакции горения углерода выделится не более 3 МДж/кг чугуна, что недостаточно для компенсации недостатка тепла.

Поэтому основным источником тепла в печи Ромелт является дожигание выделяющихся восстановительных газов над шлаковой ванной и передача полученного тепла в ванну. Объем выделяющихся из ванны газов  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2$  больше необходимого для устранения дефицита тепла в шлаковой ванне, поэтому даже частичное дожигание этих газов позволяет получить достаточное количество тепла. При правильной организации зоны дожигания достаточно горения 60-85% объема выделяющихся из ванны газов. Увеличение тепла от дожигания можно достичь путем удаления витающих частиц угля и, соответственно, перераспределения всего кислорода, подаваемого выше уровня шлака, на реакции горения газов что

обеспечивается в предполагаемом патенте.

Уголь подается через шибер 1 на односитный грохот 2, где происходит разделение угля на фракции более 5 мм и менее 5 мм. Крупная фракция угля более 5 мм через второй вертикальный контейнер 7 подается в шихтовый бункер 8, а из шихтового бункера 8 в жидкую шлаковую ванну 10 через верхнее загрузочное отверстие 13.

Фракции угля менее 5 мм через загрузочный желоб 3 подается на первый вертикальный конвейер 5, откуда поступает в шихтовый бункер 9. После этого фракция угля менее 5 мм из шихтового бункера 9 поступает в установку 6 для измельчения угля, где получают фракции угля менее 1 мм.

Данная фракция вдувается в жидкую шлаковую ванну 10 через нижние фурмы 12 или через дополнительные фурмы, выполненные в торцевых и боковых стенах печи Ромелт на высоте 0,8-1,8 м от пода печи.

Уголь фракции менее 1 мм подается на нижние фурмы 12 печи Ромелт при интенсивности дутья 400-1000 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> площади печи.

При интенсивности дутья менее 400 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> площади печи барботаж в жидкой шлаковой ванне осуществляется в пузырьковом режиме, что приводит к недостаточной интенсивности перемешивания.

При интенсивности дутья более 1000 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> площади печи появляются пробои струи через жидкую шлаковую ванну и уменьшению интенсивности перемешивания.

Оксиды железа, попадая в слой барботируемого шлака, содержащего уголь, растворяются в шлаке и восстанавливаются на замешиваемых в шлак угольных частицах. Железо, получаемое при восстановлении, науглероживается и в виде капелек металла под действием собственного веса осажается на подину печи. Таким образом в печи образуется три слоя расплавов: металл на подине печи, слой спокойного шлака между металлом и нижними фурмами и слой барботируемого шлака (реакционная зона). Вдувание мелкодисперсных фракций угля существенно увеличивает количество центров восстановления железа, что приводит к возрастанию количества полученного металла и повышению производительности агрегата.

При разделении угля на фракции более 5 мм и менее 5 мм поддерживают степень дожигающих газов из жидкой шлаковой ванны 10 на уровне 60-85 % от максимально возможной степени дожигающих газов.

Разделение на фракции ±5 мм обусловлено тем, что при загрузке угля сверху через загрузочное отверстие фракция больше 5 мм падает в шлаковую ванну, а фракция меньше 5 мм вследствие относительно малой плотности угля и высоких скоростей газового потока витают в зоне дожигающих газов и взаимодействуют с кислородом дутья верхних фурм.

При степени дожигающих газов, выходящих из жидкой шлаковой ванны, вычисленной по соотношению  $\text{CO}_2/(\text{CO}_2+\text{CO}) \cdot 100\%$ , менее 60% ухудшаются показатели работы печи Ромелт и увеличивается расход энергоносителей.

При степени дожигающих газов, выходящих из жидкой шлаковой ванны, более 85% могут происходить процессы диссоциации образовавшихся  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  вследствие высокой температуры, что уменьшает количество тепла, полученного от дожигающих газов, а также увеличиваются потери тепла через стенки печи.

При недостаточной степени дожигающих газов фракция угля менее 5 мм с помощью перекидного шибера 1 подается через загрузочный желоб 4 на вертикальный конвейер 5 и на установку 6 для измельчения угля фракции менее 1 мм.

Подача фракций угля менее 1 мм обусловлено следующим. В случае подачи в нижние фурмы 12 угля крупностью более 1 мм на внутренних поверхностях системы подготовки и подачи угля интенсивно протекают процессы механического износа вследствие взаимодействия материала системы с острыми гранями частиц угля, а также имеет место снижение скорости восстановления в слое шлака.

Количество фракций угля менее 1 мм, подаваемых на дополнительные и нижние фурмы 12 составляет не менее 20% от общего количества угля. При меньшем количестве увеличение степени дожигающих газов недостаточно для получения величины более 60%, а количество центров зарождения металлической фазы на угле возрастает недостаточно.

В этих условиях создают тепловой поток из зоны дожигающих газов в жидкую шлаковую ванну в пределах 3-6 МВт/м<sup>2</sup> поверхности жидкой шлаковой ванны. При тепловом потоке менее 3 МВт/м<sup>2</sup> поверхности жидкой шлаковой ванны происходит недостаточная передача тепла в шлаковую ванну от зоны дожигающих газов и наблюдается перерасход угля и кислорода на нижний ряд фурм. При тепловом потоке более 6 МВт/м<sup>2</sup> поверхности жидкой шлаковой ванны наблюдается повышенная степень дожигающих газов, диссоциация  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , увеличение тепловых нагрузок на стены печи.

При этом расход кислорода на верхние фурмы уменьшается на 10 м<sup>3</sup> при снижении количества фракции угля менее 5 мм в зоне дожигающих газов на 1 кг, фиксированного углерода в угле. Одновременно увеличение производительности печи Ромелт по чугуну составит 1,2 кг на 1 кг вдуваемого угля, за счет увеличения числа центров восстановления оксидов железа на угольных частицах.

### Примеры осуществления способа

#### Пример 1.

В жидкую шлаковую ванну печи Ромелт одновременно загружают смесь железосодержащих отходов металлургического производства (шламы, пыли, окалина) со средним содержанием  $Fe_{\text{общ}}$  50,4% и уголь марки "ТСШ" Кузнецкого угольного бассейна с содержанием фиксированного углерода 67,5%. При этом фракцию угля более 5 мм подают в жидкую шлаковую ванну печи Ромелт через верхнее загрузочное отверстие, а фракцию угля менее 5 мм подвергают измельчению до крупности менее 1 мм. После чего фракцию угля менее 1 мм вдувают в жидкую шлаковую ванну через нижние фурмы и через установленные в торцевых и боковых стенах печи Ромелт дополнительные фурмы вместе с воздушно-кислородным дутьем с интенсивностью  $1000 \text{ м}^3/\text{м}^2$  площади печи на уровне нижних фурм. Степень дожигающих выходящих из шлаковой ванны газов составляет 60% от максимально возможной. Таким образом обеспечивают тепловой поток из зоны дожигающих в жидкую шлаковую ванну  $3 \text{ МВт}/\text{м}^2$  поверхности жидкой шлаковой ванны. Количество фракции угля менее 1 мм, подаваемой на нижние фурмы, составляет 20% от общего расхода угля. При этом удельные расходы угля и кислорода составляют  $820 \text{ кг}/\text{т}$  чугуна и  $940 \text{ м}^3/\text{т}$  чугуна, соответственно. По сравнению с загрузкой всего угля через верхнее загрузочное отверстие производительность печи увеличилась на 15%.

#### Пример 2.

В жидкую шлаковую ванну печи Ромелт одновременно загружают железную руду со средним содержанием  $Fe_{\text{общ}}$  38,5% и уголь марки "Т" Кузнецкого угольного бассейна с содержанием фиксированного углерода 76,5%. При этом фракцию угля более 5 мм подают в жидкую шлаковую ванну печи Ромелт через верхнее загрузочное отверстие, а фракцию угля менее 5 мм подвергают измельчению до крупности менее 1 мм. После чего фракцию угля менее 1 мм вдувают в жидкую шлаковую ванну через нижние фурмы и через установленные в торцевых и боковых стенах печи Ромелт дополнительные фурмы вместе с воздушно-кислородным дутьем с интенсивностью  $400 \text{ м}^3/\text{м}^2$  площади печи на уровне нижних фурм. Степень дожигающих выходящих из шлаковой ванны газов составляет 85% от максимально возможной. Таким образом, обеспечивают тепловой поток из зоны дожигающих в жидкую шлаковую ванну  $6 \text{ МВт}/\text{м}^2$  поверхности жидкой шлаковой ванны. Количество фракции угля менее 1 мм, подаваемой на нижние фурмы, составляет 40% от общего расхода угля. При этом удельные расходы угля и кислорода составляют  $980 \text{ кг}/\text{т}$  чугуна и  $1030 \text{ м}^3/\text{т}$  чугуна, соответственно. По сравнению с загрузкой всего угля через верхнее загрузочное отверстие производительность печи увеличилась на 30%.

Таким образом, предлагаемый способ увеличивает производительность технологии и обеспечивает экономию расхода угля и кислорода по сравнению с загрузкой угля только сверху на жидкую шлаковую ванну.

### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ производства чугуна процессом жидкофазного восстановления Ромелт, включающий одновременную загрузку железосодержащих материалов, флюсов и фракций угля более 5 мм в жидкую шлаковую ванну печи Ромелт через верхнее загрузочное отверстие, барботаж жидкой шлаковой ванны и иницирование неполного горения угля путем подачи воздушно-кислородного дутья на нижние фурмы печи Ромелт, окисление в зоне дожигающих  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2$ , выделяющихся из жидкой шлаковой ванны, путем подачи кислорода на верхние фурмы печи Ромелт и отвод чугуна и шлака из печи Ромелт, при этом степень дожигающих выходящих из жидкой шлаковой ванны газов поддерживают на уровне 60-85% от максимально возможной степени дожигающих путем разделения угля на фракции более 5 мм и менее 5 мм, причем фракцию угля менее 5 мм подвергают измельчению до крупности менее 1 мм и подают в жидкую шлаковую ванну через нижние фурмы печи Ромелт вместе с воздушно-кислородным дутьем с интенсивностью  $400-1000 \text{ м}^3/\text{м}^2$  площади печи на уровне нижних фурм и обеспечивают тепловой поток из зоны дожигающих в жидкую шлаковую ванну в пределах  $3-6 \text{ МВт}/\text{м}^2$  поверхности жидкой шлаковой ванны.

2. Способ по п.1, в котором в качестве железосодержащих материалов используют отходы металлургического производства в виде шламов, пыли, окалины и руды.

3. Способ по п.1, в котором в качестве флюсов используют известь, или обожженный доломит, или кварцевый песок, или их смесь.

4. Способ по п.1, в котором степень дожигающих выходящих из жидкой шлаковой ванны газов определяют по соотношению  $\alpha = \text{CO}_2/(\text{CO}_2+\text{CO}) \cdot 100\%$ .

5. Способ по п.1, в котором фракции угля менее 1 мм подают через выполненные в торцевых и боковых стенах печи Ромелт дополнительные нижние фурмы.

6. Способ по п.1, в котором количество фракции угля менее 1 мм, подаваемого через дополнительные и нижние фурмы, составляет не менее 20% от общего количества угля.

