

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **033560**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2019.10.31

(21) Номер заявки
201700350

(22) Дата подачи заявки
2017.06.23

(51) Int. Cl. **C22B 7/00** (2006.01)
C21B 11/06 (2006.01)
C21B 13/08 (2006.01)

(54) **СПОСОБ МАЛОТОННАЖНОГО РЕЦИКЛИНГА ДИСПЕРСНЫХ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ МЕТАЛЛООТХОДОВ БЕЗ ИХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ ПУТЕМ ТВЕРДО-ЖИДКОФАЗНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ В РОТАЦИОННОЙ НАКЛОНЯЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ С ПОЛУЧЕНИЕМ ЧУГУНА ИЛИ СТАЛИ**

(43) **2018.12.28**

(96) **2017/EA/0050 (BY) 2017.06.23**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(BY)**

(56) US-A-4758268
RU-C2-2247159
US-A-3034884

(72) Изобретатель:
**Ровин Сергей Леонидович,
Калиниченко Александр Сергеевич,
Ровин Леонид Ефимович (BY)**

(57) Способ малотоннажного рециклинга дисперсных железосодержащих металлоотходов без их предварительной подготовки путем твердо-жидкофазного восстановления в ротационной наклоняющейся печи (РНП) с получением чугуна или стали относится к литейному и металлургическому производству, разработан для использования непосредственно на предприятиях - источниках такого рода отходов (машиностроительных, металлургических, металлообрабатывающих и др.) и позволяет превратить производство и потребление металла в замкнутый, экологически чистый цикл, обеспечивая рентабельность процесса даже при малых объемах (менее 1000 т в год) и значительной неоднородности перерабатываемых отходов. Весь процесс рециклинга последовательно реализуется в одном агрегате - РНП (фиг. 1 и фиг. 2), включающем в себя корпус 1 и поворотную крышку 3, защищенные многослойной футеровкой 12, опорную стойку 10, подвижную 8 и опорную 7 рамы, приводы вращения 2 корпуса, поворота крышки и наклона 9 печи. На поворотной крышке 3 укреплены горелка 6, патрубок отвода отходящих газов 5, патрубок для ввода кислорода 11, смотровой глазок 4, датчики, контролирующие температуру и состав атмосферы в печи.

B1

033560

033560

B1

Способ малотоннажного рециклинга дисперсных железосодержащих металлоотходов без их предварительной подготовки путем твердо-жидкофазного восстановления в ротационной наклоняющейся печи (РНП) с получением чугуна или стали относится к литейному и металлургическому производству, разработан для использования непосредственно на предприятиях-источниках такого рода отходов (машиностроительных, металлургических, металлообрабатывающих и др.) и позволяет превратить производство и потребление металла в замкнутый, экологически чистый цикл, обеспечивая рентабельность процесса даже при малых объемах (менее 1000 т в год) и значительной неоднородности перерабатываемых отходов.

Известен способ твердофазного восстановления (ТФВ) оксидов железа в трубчатой печи - SL/RN [1]. Способ осуществляется в проходной трубчатой вращающейся печи длиной 80-100 и более метров, в которую подают природный газ и воздух раздельно, загружают предварительно подготовленные окомкованные рудные материалы (рудный концентрат) и твердое топливо (уголь), либо рудноугольные окатыши, нагревают их за счет сжигания природного газа до температуры 900-1100°C, при этой температуре по мере продвижения материалов к разгрузочной воронке в результате ТФВ происходит металлизация окатышей, которая к моменту выгрузки из печи достигает ~90%. В состав окатышей помимо рудного концентрата, восстановителя и связующего может добавляться до 10-15% оксидных железосодержащих отходов.

Основными недостатками данного способа являются необходимость использования предварительно окомкованного сырья и получение в качестве конечного продукта металлизированных окатышей (гранул губчатого железа). Восстановление в твердой фазе в окомкованном виде представляет собой длительный процесс, требующий в зависимости от размеров окатышей и температуры процесса от 7-9 до 20-24 ч. Использование неокомкованного железосодержащего сырья и угольной пыли в трубчатых печах приводит к повышенному выносу (потере) материалов. Повышение температуры приводит к спеканию материалов, крицеобразованию, появлению настывлей на стенках печи и остановке процесса. Скорость процесса замедляется по мере увеличения степени металлизации. Металлизированные окатыши (гранулы губчатого железа) по сути являются полупродуктом, быстро окисляются на воздухе и требуют дальнейшей переработки: как правило, они охлаждаются, брикетируются и затем переплавляются в электродуговых печах.

Известен способ получения чугуна из железной руды путем жидкофазного восстановления (ЖФВ) во вращающемся конвертере - Dored-process [2]. Процесс реализуется в печи, вращающейся вокруг горизонтальной оси со скоростью до 30 об/мин, в которую на жидкую шлаковую ванну непрерывно загружается железорудный концентрат в смеси с углем. В качестве добавок к железорудному концентрату (до 15-20%) могут использоваться также окалина, колошниковые пыли, шламы и другие техногенные железосодержащие отходы, прошедшие предварительную гомогенизацию, сушку, очистку. Восстановление происходит твердым углеродом в шлаковой ванне. Восстановленное железо насыщается углеродом, превращаясь в чугун, и скапливается в нижней части ванны. Жидкий чугун периодически выпускается из печи через лентку в конической части. Выделяющийся при восстановлении оксидов железа CO дожигается в объеме печи, благодаря использованию кислородной фурмы, которая вводится через горловину печи. Дожигание позволяет поднять температуру над расплавом до 1700-1800°C и интенсифицировать процесс восстановления.

Недостатком данного способа является повышенный расход угля, который используется и как восстановитель, и как топливо. Существенным недостатком способа является также постоянный контакт высокотемпературных агрессивных шлаков с футеровкой печи, что значительно снижает ее стойкость и долговечность.

Способы ЖФВ обеспечивают более высокие скорости восстановления, позволяют перерабатывать неокомкованные материалы и доводить степень восстановления до 100%, но по сравнению с методами ТФВ характеризуются значительно более высокими удельными расходами энергоносителей, что приводит к удорожанию конечного продукта.

Известны комбинированные двухстадийные способы получения железа из рудного сырья, которые объединяют преимущества и минимизируют недостатки способов ТФВ и ЖФВ, например процесс Cogex [3]. Для реализации процесса используется два технологических агрегата: на первой стадии в шахтной печи за счет использования газом-восстановителя осуществляется предварительное твердофазное восстановление окомкованных железорудных материалов (окатышей) до степени металлизации 80-90%, на второй стадии материал перегружается в плавильный реактор, где осуществляется окончательное жидкофазное восстановление полученного полупродукта (металлизированных окатышей) и, при необходимости, рафинирование расплава и доводка его до заданного химсостава.

Недостатком комбинированных способов является значительно более сложная технологическая схема и необходимость синхронизации двух взаимосвязанных, но различных по продолжительности и температурному режиму процессов - восстановления и плавления, реализуемых в двух различных агрегатах, необходимость перегрузки перерабатываемого материала из агрегата в агрегат, неизбежные при этом потери тепла, окисление металлизированного полупродукта (окатышей или гранул губчатого железа), большие капитальные затраты и дополнительный расход энергии.

Все известные в черной металлургии способы получения железа представляют собой непрерывные технологические процессы, рассчитанные на переработку крупнотоннажного (исчисляемого миллионами тонн в год) стабильного по исходным параметрам сырья, в первую очередь - рудного концентрата. Переработка такими методами небольших количеств разнородных железосодержащих металлоотходов нерентабельна.

В качестве прототипа принят способ рециклинга металла из колошниковой пыли электродуговых печей и шлама с получением металлизированных окатышей (гранулированного железа) или чугуна в наклонной ротационной плавильной печи [4]. Этот способ предназначен для переработки в периодическом режиме относительно небольших количеств (порядка 10 тыс. т в год) оксидных железосодержащих металлоотходов, образующихся на сталелитейных или электрометаллургических заводах. Процессы нагрева, твердофазного восстановления оксидов, расплавления и рафинирования полученного металла в указанном способе осуществляются в наклонной ротационной плавильной печи. Перед загрузкой в ротационную печь железосодержащие отходы проходят предварительную подготовку: дозируются и загружаются в смеситель, где смешиваются с твердым углеродистым восстановителем и коллоидным органическим связующим, увлажняются, затем транспортируются в дисковый гранулятор, где гранулируются (окатышаются) и перегружаются в сушило, где полученные окатыши сушатся в потоке горячего воздуха при температуре 300°C и упрочняются.

Процесс рециклинга по прототипу включает следующие этапы: изготовление окатышей (гранул) из оксидных дисперсных железосодержащих отходов, восстановителя и связующего; перегрузку окатышей в наклонную ротационную плавильную печь, где происходит их нагрев до 900°C и твердофазное восстановление при температуре 1050-1150°C; после замедления процесса ТФВ осуществляется либо разгрузка полученных металлизированных окатышей в охладитель с последующим использованием в качестве шихтовых материалов при плавке стали в электродуговых печах, либо расплавление при температуре 1500-1650°C, рафинирование и слив расплава в разливочное устройство, где происходит

отделение жидкого металла (чугуна) от шлака и разливка металла в изложницы разливочного конвейера или в литейные формы.

Основными недостатками данного способа являются: необходимость предварительной подготовки и окомкования (гранулирования) дисперсных железосодержащих отходов и отсутствие стадии жидкофазного восстановления оксидов железа.

Предварительное окомкование дисперсных материалов замедляет процессы нагрева и твердофазного восстановления, которые протекают тем быстрее чем больше удельная реакционная поверхность материалов. Исследования показывают, что при переходе от дисперсных пористых частиц оксидов, удельная площадь реакционной поверхности которых составляет у окалины 0,5-1,5 м²/г, у колошниковой пыли - 25-50 м²/г, к окатышам с размерами 5-10 мм удельная реакционная поверхность материала уменьшается на два-три порядка - до 0,02-0,05 м²/г, а скорость твердофазного восстановления при тех же условиях снижается, соответственно, в 3-5 раз. Кроме того, при восстановлении окатышей скорость процесса замедляется по мере увеличения степени металлизации из-за образования оболочки восстановленного металла вокруг непрореагировавшего (невосстановленного) ядра. Скорость восстановления в твердофазных процессах заметно снижается, когда степень металлизации достигает 60-80%. Повышение степени металлизации до 90-95% при реализации одностадийных методов ТФВ требует значительного увеличения продолжительности процесса: до 2-3 ч в кольцевых печах с вращающимся подом, до 7-9 ч в трубчатых вращающихся печах и до 20-24 ч в печах шахтного типа. В комбинированных методах после замедления процесса ТФВ, материалы перегружаются в плавильный реактор, где осуществляют окончательное жидкофазное восстановление (довосстановление) железа из оксидов.

В прототипе стадия жидкофазного восстановления отсутствует. Оксиды железа, невосстановленные на стадии ТФВ, расплавляются и переходят в шлак. Соответственно, количество металла (чугуна), полученного в результате реализации указанного способа, определяется и ограничивается степенью металлизации, достигнутой на стадии ТФВ.

Сложная многоступенчатая система подготовки и окомкования дисперсного материала, предложенная в указанном способе, затрудняет использование разнородных техногенных металлоотходов: переход на новый вид сырья неизбежно требует остановки и переналадки всей технологической цепочки.

Наклонная ротационная плавильная установка, применяемая в прототипе, имеет основную (неподвижную) газовую горелку, установленную в днище печи, и вторую, перемещаемую горелку, устанавливаемую со стороны загрузочной горловины печи. Такое расположение основной горелки не позволяет загружать материал в объеме большем, чем 15% от рабочего пространства печи, и препятствует реализации процесса жидкофазного восстановления при переходе к расплаву, так как вспенивание шлака, сопровождающее ЖФВ делает невозможной работу основной горелки. Прямолинейное движение дымовых газов от основной горелки (от днища печи) к горловине, где устанавливается устройство вытяжки (дымоход), приводит к большому уносу из рабочего пространства печи дисперсных материалов и делает обязательным условием их предварительное окомкование. Малое время пребывания продуктов сжигания газа в печи снижает КПД, который, как и в других печах с подобной траекторией движения (например, в короткобарабанных печах), составляет не более 10-15%. Одновременная работа двух горелок и подача

кислорода, воздуха и топлива в печь с противоположных торцов затрудняет управление потоками, приводит к их торможению и дополнительным потерям тепла.

Задачей изобретения является создание способа малотоннажного рециклинга дисперсных железосодержащих металлоотходов без их предварительной подготовки путем твердо-жидкофазного восстановления в ротационной наклоняющейся печи (РНП) с получением железоуглеродистых сплавов - стали или чугуна.

Задача решается тем, что в способе малотоннажного рециклинга дисперсных железосодержащих металлоотходов все исходные материалы: железосодержащие отходы, восстановитель (твердые углеродсодержащие материалы) и флюсы, загружают в РНП с петлеобразным циркуляционным движением продуктов сжигания газообразного или жидкого топлива в первоначальном состоянии, без предварительной подготовки и окомкования (окатывания, гранулирования, брикетирования и т.п.), используя при этом любые железосодержащие отходы, в том числе металлические, оксидные и многокомпонентные; перемешивание и сушку исходных материалов осуществляют после загрузки в процессе их нагрева; твердофазное восстановление оксидов железа осуществляют при температурах 1000-1300°C до степени металлизации 60-80%, а после расплавления при температурах 1600-1800°C осуществляют выдержку расплава, скачивание шлака, при необходимости - рафинирование и доводку до требуемого химического состава, разливку полученного железоуглеродистого сплава (чугуна или стали) в изложницы с получением слитков (чушки) либо в литейные формы с получением фасонных отливок;

для получения литейных сплавов после расплавления и завершения стадии жидкофазного восстановления и скачивания шлака расплав из РНП для рафинирования и доводки по химическому составу передают в агрегаты внепечной обработки (индукционный миксер, печь-ковш и др.);

в печь вначале загружают только железосодержащие отходы, а после их прогрева до 700-900°C, перед переходом к твердофазному восстановлению, добавляют восстановитель и флюсы;

при рециклинге металлических железосодержащих отходов (стружки, мелкого скрапа, металлической пыли, обрезков проволоки и других, содержащих не менее 85-90% Fe мет.) процесс проводят, минуя стадии твердо- и жидкофазного восстановления, а нагрев ведут в восстановительной атмосфере при сжигании жидкого или газообразного топлива с коэффициентом избытка воздуха 0,8-0,9.

Сущность изобретения поясняется чертежом, где на фиг. 1 и 2 представлено устройство ротационной наклоняющейся печи, в которой реализуется заявленный способ, включающее корпус 1, поворотную крышку 3, закрепленную на опорной стойке 10, подвижную раму 8, опорную раму 7, приводы вращения 2 корпуса печи, поворота крышки и наклона 9 подвижной рамы. На поворотной крышке 3 укреплены горелка 6 (газовая или жидкотопливная), патрубок отвода отходящих газов 5, патрубок для ввода кислорода 11, смотровой глазок 4 и датчики, контролирующие температуру и состав атмосферы в печи. Корпус 1 и крышка печи 3 изнутри защищены многослойной футеровкой 12 из огнеупорных и теплоизоляционных материалов. В рабочем положении корпус печи 1 находится под углом φ -12-20° к горизонту, что обеспечивает интенсивное перемешивание материалов как в поперечном, так и в продольном направлении. Конструкция узла ввода горелки 6 позволяет изменять направление факела (потока) продуктов горения как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости в пределах телесного угла γ 0-15°, что обеспечивает возможность выбора оптимального угла атаки факела к поверхности материала и повышает интенсивность теплопередачи. Привод вращения 2 корпуса печи оснащается инвертором, что позволяет плавно изменять скорость вращения корпуса ω в пределах 0-6 об/мин. Привод наклона 9 позволяет изменять положение корпуса печи в вертикальной плоскости. Угол между рабочим положением корпуса печи и максимальным наклоном при сливе α составляет 35-45°.

Ввод газов-теплоносителей в РНП осуществляется с той же стороны, что и отвод дымовых газов (со стороны горловины печи), и производится под углом к боковой стенке корпуса 1, что обеспечивает газовому потоку циркуляционное петлеобразное движение, многократно увеличивая траекторию и время пребывания горячих газов рабочем пространстве печи. При этом осевая скорость движения газов уменьшается, а линейные скорости в плоскости вращения газового потока, направленные по касательной к материалу и стенкам печи, возрастают, что увеличивает интенсивность передачи тепла от газов к материалу и, благодаря циклонному эффекту, снижает вынос дисперсных частиц из печи.

Для загрузки печи используется загрузочное средство, например, скиповый подъемник, наклоняющийся или вибрационный лоток, погрузчик, оснащенный поворотной мультдой, и т.п. Для слива металла и шлака используют ковши и изложницы.

Перед началом процесса производится разогрев печи с помощью горелки до температуры 700-800°C (до красного свечения футеровки). Горелка включается на полную мощность при соотношении газ/воздух - 1/(10-11) (коэффициент избытка воздуха $\alpha=1-1,1$). При повторных плавках, осуществляемых последовательно без охлаждения печи, этой операции не требуется.

Затем производится загрузка в печь железосодержащих отходов, флюсов (известь, известняк, доломит) и восстановителя (коксик, антрацит, уголь, лигнин) в расчетном количестве и осуществляется их нагрев до температуры 800-900°C. В процессе нагрева происходит сушка материалов, выгорание масел и

органики, продувка слоя. Нагрев занимает 10-15 мин, и осуществляется при работе горелки на полную мощность с коэффициент избытка воздуха $\alpha=1-1,1$.

Затем горелка переводится в режим горения с $\alpha=0,6-0,7$. Температура в печи поднимается и поддерживается на уровне 1000-1300°C, а концентрация CO не ниже 20 %. Печь вращается со скоростью 1-3 об/мин. В таком режиме реализуется процесс твердофазного восстановления. Длительность режима ТФВ 1,5-2,0 ч, что зависит от вида железосодержащих отходов и массы материала в печи.

После достижения степени металлизации 60-80% процесс переводится в режим жидкофазного восстановления, для чего в печь подается кислород в количестве, необходимом для полного сжигания природного газа (жидкого топлива). Температура в печи при этом повышается до 1600-1800°C. Рост температуры при переходе от твердофазного состояния к расплаву обеспечивается со скоростью не ниже 2 К/с, что позволяет исключить опасность спекания материала и крицеобразования. Период расплавления длится 7-10 мин. Вращение печи производится со скоростью 0,5-1,5 об/мин. При расплавлении материалов в печи происходит образование и вспенивание шлака, в котором имеются частички твердого восстановителя. Процесс жидкофазного восстановления продолжается в течение 15-20 мин до прекращения вспенивания шлака, что свидетельствует о прекращении газификации углерода в шлаке. После прекращения «кипа» расплав выдерживается 3-5 мин, скачивается шлак, металл сливается в изложницы или разливочный ковш.

При необходимости доводки полученного расплава по химсоставу после скачивания шлака проводится рафинирование, науглероживание, ввод ферросплавов легирующих и модифицирующих добавок. При этом температура в печи устанавливается на уровне 1500-1650°C (в зависимости от получаемого сплава), вращение печи заменяется на периодическое качание. Расплав в печи выдерживается дополнительно 10-15 мин. Затем производится скачивание шлака и разливка полученного железоуглеродистого сплава (чугуна или стали) в изложницы с получением слитков (чушки) либо в литейные формы с получением фасонных отливок.

Процесс рециклинга дисперсных металлических отходов: стружки, мелкого скрапа, обрезков в проволоки, металлической пыли и других подобных отходов, которые содержат относительно небольшое количество оксидов железа и других неметаллических примесей (Fe мет. $\geq 85-90\%$), сводится к переплавке отходов и включает в себя: высокотемпературный безокислительный нагрев, расплавление, выдержку, скачивание шлака, при необходимости - доводку расплава по химсоставу, и слив металла в разливочный ковш или изложницы. Окисление металла при нагреве предотвращается, благодаря высокой скорости нагрева ($\geq 60-80$ К/мин.) и восстановительной атмосфере в печи.

Описанный способ имеет ряд важных преимуществ:

возможность переработки (рециклинга) любых дисперсных железосодержащих отходов без их предварительной подготовки с получением металла (чугуна или стали), себестоимость которого на 25-30% ниже стоимости стального и чугунного лома и в 2-3 раза ниже стоимости первичных шихтовых материалов (чушкового чугуна, стальных слитков), полученных другими методами;

рентабельность даже при небольших количествах сырья, что в сочетании с минимальными капитальными затратами, которые на 2 порядка ниже, чем при реализации любого из известных технологических процессов получения железа, как традиционным доменным способом, так и внедоменными методами, позволяет освоить технологию практически на любом машиностроительном, металлообрабатывающем, металлургическом предприятии, имеющем собственные металлоотходы;

высокую гибкость и универсальность технологии, возможность переработки практически любых дисперсных металлоотходов, в том числе металлических оксидных и многокомпонентных, как черных так и цветных металлов;

высокий термический КПД ($\geq 50\%$), возможность применения и жидкого, и газообразного топлива, возможность использования практически любых углеродсодержащих восстановителей, в том числе отходов (лигнин, коксик, отсеы угля) и местного сырья (торф), низкий пылеунос - потери дисперсных и ультрадисперсных материалов составляют не более 1-3%;

компактность применяемого оборудования и высокая производительность - при переработке оксидных железосодержащих отходов удельная (отнесенная к объему рабочего пространства печи) производительность способа составляет 2,5-3,2 т/м³ в сутки, что соответствует лучшим показателям работы доменных печей (1,6-3,0 т/м³) и производительности установок получения железа методами жидкофазного восстановления (2,5-3,5 т/м³) и более чем в 2 раза превышает этот показатель для способов получения железа методами твердофазного восстановления (0,5-1,5 т/м³).

Список документов, цитированных в описании изобретения

1. Ironmaking Process. Alternatives Screening Study / Department of Energy USA. Summary Report, October 2000. - Vol.I. - P.15-16.
2. Кожевников И.Ю. Beskokсовая металлургия железа. - М.: Металлургия, 1970. - 336 с.
3. Дигонский С.В. Теоретические основы и технология восстановительной плавки металлов из неокискованного сырья. - СПб.: Наука, 2007. - 322 с.
4. US 4758268, 1988.

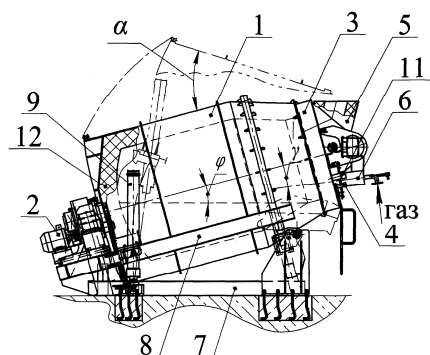
ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ малотоннажного рециклинга дисперсных железосодержащих металлоотходов без их предварительной подготовки путем твердо-жидкофазного восстановления в ротационной наклоняющейся печи (РНП) с получением чугуна или стали, включающий загрузку исходных материалов - железосодержащих отходов, восстановителя - твердых углеродсодержащих материалов, и флюсов, их нагрев, твердофазное восстановление оксидов железа, расплавление, выдержку, скачивание шлака, рафинирование и доводку металлического расплава до требуемого химического состава, разливку полученного железоуглеродистого сплава в изложницы с получением слитков либо в литейные формы с получением фасонных отливок, отличающийся тем, что все исходные материалы загружают в РНП с петлеобразным циркуляционным движением продуктов сжигания газообразного или жидкого топлива в первоначальном состоянии без предварительной подготовки и окомкования, используя при этом любые дисперсные железосодержащие отходы, в том числе металлические, оксидные и многокомпонентные; перемешивание и сушку исходных материалов осуществляют после загрузки в процессе их нагрева; твердофазное восстановление оксидов железа осуществляют при температурах 1000-1300°C до степени металлизации 60-80%, а после расплавления при температурах 1600-1800°C осуществляют их окончательное жидкофазное восстановление.

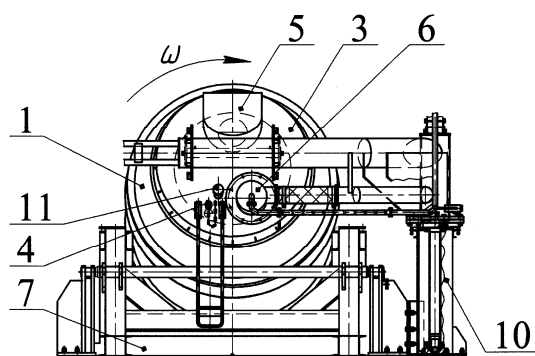
2. Способ по п.1, отличающийся тем, что для получения литейных сплавов после расплавления и завершения стадии жидкофазного восстановления и скачивания шлака расплав из РНП для рафинирования и доводки по химическому составу передают в агрегаты внепечной обработки.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что в печь вначале загружают только железосодержащие отходы, а после их прогрева до 700-900°C перед переходом к твердофазному восстановлению добавляют восстановитель и флюсы.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что при рециклинге металлических железосодержащих отходов, содержащих не менее 85-90% Fe мет., процесс проводят, минуя стадии твердо- и жидкофазного восстановления, а нагрев ведут в восстановительной атмосфере при сжигании жидкого или газообразного топлива с коэффициентом избытка воздуха 0,8-0,9.



Фиг. 1



Фиг. 2



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2