

(19)



Евразийское  
патентное  
ведомство

(11) 042981

(13) B1

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента  
2023.04.12

(21) Номер заявки  
202193082

(22) Дата подачи заявки  
2020.06.03

(51) Int. Cl. C22B 5/04 (2006.01)  
C22B 9/20 (2006.01)  
C22B 34/32 (2006.01)  
C22C 38/18 (2006.01)

(54) СПОСОБ И СИСТЕМА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОГО  
ФЕРРОХРОМА ИЗ ХРОМИТНОЙ РУДЫ И ПОЛУЧЕННЫЙ ТАКИМ ОБРАЗОМ  
НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫЙ ФЕРРОХРОМ

(31) 16/454,283

(32) 2019.06.27

(33) US

(43) 2022.05.20

(86) PCT/US2020/035842

(87) WO 2020/263517 2020.12.30

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
ММ МЕТАЛС ЮЭСЭЙ, ЛЛС (US)

(72) Изобретатель:  
Шо Дэниел, Сэвилл Джеймс (US),  
Уильямс Джон (GB), Масто Тревор Н.  
(MX)

(74) Представитель:  
Нилова М.И. (RU)

(56) US-A1-20030150295  
US-A-5009703  
US-A1-20160237526  
US-A-4072510  
WO-A1-2011045755  
US-B1-10508319

(57) В изобретении представлены способ и система для получения высокого выхода низкоуглеродистого феррохрома из хромита и низкоуглеродистый феррохром, полученный указанным способом. Стехиометрическую смесь материалов сырья, содержащую гранулы алюминиевых отходов, известь, кремнеземный песок и хромитную руду, подают в плазменно-дуговую печь. Гранулы алюминиевых отходов получают из использованных банок для напитков. Материалы сырья нагревают, при этом алюминий в гранулах алюминиевых отходов обеспечивает экзотермическую реакцию восстановления оксида хрома и оксида железа в хромите с образованием расплавленного низкоуглеродистого феррохрома с плавающим на поверхности расплавленным шлаком. Расплавленный низкоуглеродистый феррохром извлекают, отверждают и гранулируют с образованием гранул низкоуглеродистого феррохрома. Расплавленный шлак извлекают, отверждают и гранулируют с образованием гранул шлака.

042981 B1

042981 B1

### **Перекрестные ссылки на родственные заявки**

Настоящая заявка испрашивает приоритет согласно 35 U.S.C. §120 заявке на патент США № 16/454283, поданной 27 июня 2019 г., озаглавленной Способ и система для получения низкоуглеродистого феррохрома из хромитной руды и полученный таким образом низкоуглеродистый феррохром, содержание которой полностью включено в настоящую заявку посредством ссылки.

### **Область техники**

В целом настоящее изобретение относится к созданию сплава и конкретнее к способам и системам для получения низкоуглеродистого феррохрома из хромитной руды и к полученному таким образом низкоуглеродистому феррохрому.

### **Описание изобретения**

#### **Уровень техники**

Низкоуглеродистый феррохром ("НУ FeCr") представляет собой нишевый продукт, имеющий несколько применений, самое распространенное из которых представляет собой применение для "тонкой подстройки" сталей с высоким содержанием хрома в ковшовых печах, когда введение углерода из высокоуглеродистого феррохрома не приемлемо. Существует несколько сортов НУ FeCr с различными количествами углерода, кремния и азота, их получают из хромитных руд. НУ FeCr можно получать из хромитной руды при помощи нескольких способов - способ Перрина, способ дуплекс с использованием кремния в качестве восстановителя в форме ферросиликохрома. Вместо кремния в качестве альтернативного восстанавливающего агента применяют алюминий. Применение алюминия в качестве восстанавливающего агента вместо углерода обеспечивает возможность получения сплава металлов низкоуглеродистого феррохрома, содержащего примерно 70% хрома. Однако известные из уровня техники системы и способы для получения НУ FeCr из хромита оставляют желать лучшего с точки зрения экономичности и охраны окружающей среды.

Следовательно, существует потребность в способе получения низкоуглеродистого феррохрома из хромитной руды, который можно осуществлять экономически выгодно и безопасно для окружающей среды. Объект настоящего изобретения направлен на удовлетворение указанной потребности.

#### **Краткое описание изобретения**

Один из аспектов настоящего изобретения включает способ или процесс получения низкоуглеродистого феррохрома из хромитной руды. Способ/процесс в основном включает подачу смеси материалов сырья, содержащей гранулы отходов алюминия, жженую известь, кремнеземный песок и хромитную руду, в плазменно-дуговую печь. Гранулы отходов алюминия получают из использованных алюминиевых банок из-под напитков (здесь и далее ("ИБН")). Хромитная руда содержит оксид хрома и оксид железа. Материалы сырья обеспечивают в стехиометрическом соотношении для восстановления оксида хрома и оксида железа с образованием низкоуглеродистого феррохрома. Материалы сырья нагревают в плазменно-дуговой печи до температуры в диапазоне приблизительно от 1650 до 1850°C, при этом алюминий в алюминиевых гранулах действует как восстанавливающий агент, обеспечивая экзотермическую реакцию восстановления оксида хрома и оксида железа в хромитной руде с образованием расплавленного низкоуглеродистого феррохрома с плавающим на поверхности расплавленного низкоуглеродистого феррохрома расплавленным шлаком. Затем расплавленный низкоуглеродистый феррохром извлекают из плазменно-дуговой печи.

Согласно одному предпочтительному аспекту способа согласно настоящему изобретению, указанный способ дополнительно включает гранулирование расплавленного низкоуглеродистого феррохрома, извлеченного из плазменно-дуговой печи, с образованием сухого гранулированного низкоуглеродистого феррохрома.

Согласно другому предпочтительному аспекту способа согласно настоящему изобретению, сухой гранулированный низкоуглеродистый феррохром получают путем отливки из расплавленного низкоуглеродистого феррохрома слитков и последующего раскалывания и измельчения указанных слитков с образованием сухого гранулированного низкоуглеродистого феррохрома.

Согласно другому предпочтительному аспекту способа согласно настоящему изобретению, указанный способ дополнительно включает извлечение расплавленного шлака из плазменно-дуговой печи и гранулирование извлеченного расплавленного шлака с образованием частиц сухого гранулированного шлака.

Согласно другому предпочтительному аспекту способа согласно настоящему изобретению, частицы сухого гранулированного шлака получают при помощи центробежного дискового гранулятора для раздробления извлеченного расплавленного шлака с образованием капелек расплавленного шлака и охлаждения капелек при помощи потока большого объема низкотемпературного охлаждающего газа из вентилятора, при этом капельки затвердевают с образованием частиц сухого гранулированного шлака.

Согласно другому предпочтительному аспекту способа согласно настоящему изобретению, охлаждающий газ представляет собой воздух и указанный способ дополнительно включает регенерацию тепла из воздуха для применения для высушивания по меньшей мере одного из материалов сырья.

Согласно другому предпочтительному аспекту способа согласно настоящему изобретению, охлаждающий газ представляет собой азот, и указанный способ дополнительно включает регенерацию тепла из азота для применения для предварительного нагревания материалов сырья, подаваемых в плазменно-дуговую печь.

Согласно другому предпочтительному аспекту способа согласно настоящему изобретению, азот, находящийся под давлением выше атмосферного давления, подают в плазменно-дуговую печь для предотвращения попадания кислорода в плазменно-дуговую печь.

Согласно другому предпочтительному аспекту способа согласно настоящему изобретению, азот нагревают, и при этом давление составляет по меньшей мере 0,5 дюйм водяного столба (124,4 Па) выше атмосферного давления.

Согласно другому предпочтительному аспекту способа согласно настоящему изобретению, плазменно-дуговая печь включает по меньшей мере один электрод дуги прямого действия.

Согласно другому предпочтительному аспекту способа согласно настоящему изобретению, способ является непрерывным.

Согласно другому предпочтительному аспекту способа согласно настоящему изобретению, подача материалов сырья в смесь материалов сырья является регулируемой.

Согласно другому предпочтительному аспекту способа согласно настоящему изобретению, гранулы отходов алюминия получают из брикетов ИБН путем разделения брикетов на отдельные банки из-под напитков, которые измельчают для отделения не содержащего алюминий твердого и жидкого вещества. Не содержащее алюминий твердое вещество отделяют для получения оставшихся измельченных ИБН. Оставшиеся измельченные ИБН очищают, получая очищенные оставшиеся измельченные ИБН. С очищенных оставшихся измельченных ИБН удаляют покрытие, получая очищенные оставшиеся измельченные ИБН с удаленным покрытием. Очищенные оставшиеся измельченные ИБН с удаленным покрытием подают в плавильную печь или плавилку для получения расплавленных отходов алюминия. Расплавленные отходы алюминия отверждают и гранулируют, получая гранулы отходов алюминия, или вытягивают в проволоку. Гранулы или проволоку отходов алюминия измельчают или нарубают до заданного размера, наиболее подходящего для восстановления оксида хрома и оксида железа в плазменно-дуговой печи.

Согласно другому предпочтительному аспекту способа согласно настоящему изобретению, отделение и очистку осуществляют путем пропускания ИБН через магнитный сепаратор для удаления магнитных частиц, пропускания ИБН через вихревой сепаратор для отделения любых нежелезистых металлов, древесины и другого мусора, пропускания ИБН поверх сита для удаления любой грязи, жидкостей и воды, и пропускания ИБН через воздушный шабер для удаления любой оставшейся воды, пластика и бумаги.

Согласно другому предпочтительному аспекту способа согласно настоящему изобретению, удаление покрытия с очищенных оставшихся измельченных ИБН осуществляют путем нагревания в печи для удаления покрытия, для удаления чернил, лака и других покрытий.

Согласно другому предпочтительному аспекту способа согласно настоящему изобретению, ИБН расплавляют в печи с образованием жидкого алюминия, который затем отверждают и нарубают для получения гранул отходов алюминия заранее заданного размера.

Согласно другому предпочтительному аспекту способа согласно настоящему изобретению, заранее заданный размер составляет приблизительно от 0,1 до 2,0 мм.

Согласно другому предпочтительному аспекту способа согласно настоящему изобретению, количество гранул алюминия, применяемых в смеси материалов сырья, эквивалентно приблизительно от 105 % до 120% от стехиометрического количества алюминия, необходимого для взаимодействия с хромитной рудой в смеси материалов сырья.

Согласно другому предпочтительному аспекту способа согласно настоящему изобретению, гранулы отходов алюминия получают из металлических сплавов из использованных алюминиевых контейнеров для напитков, содержащих приблизительно до двух процентов магния, вследствие чего экзотермическое взаимодействие магния с хромитной рудой дополняет экзотермическое взаимодействие алюминия.

Согласно другому предпочтительному аспекту способа согласно настоящему изобретению, указанный способ дополнительно включает извлечение расплавленного шлака из указанной плазменно-дуговой печи через летку.

Согласно другому предпочтительному аспекту способа согласно настоящему изобретению, извлечение расплавленного шлака через летку проводят непрерывно.

Согласно другому предпочтительному аспекту способа согласно настоящему изобретению, указанный способ дополнительно включает непрерывное извлечение расплавленного шлака из плазменно-дуговой печи через трубку из карбида кремния, образующую часть летки, и приложение дополнительного тепла к расплавленному шлаку внутри трубки в летке.

Согласно другому предпочтительному аспекту способа согласно настоящему изобретению, летка направлена вверх под острым углом, так что если в шлаке присутствует расплавленный низкоуглеродистый феррохром, то расплавленный низкоуглеродистый феррохром будет падать или стекать обратно вниз по летке в плазменно-дуговую печь, благодаря тому, что низкоуглеродистый феррохром имеет более высокую плотность, чем шлак.

Другой аспект настоящего изобретения представляет собой низкоуглеродистый феррохром, полученный при помощи способа согласно настоящему изобретению.

Другой аспект настоящего изобретения представляет собой способ получения металла или сплава

металлов из материалов сырья, расположенных в камере в плазменно-дуговой печи. Указанный способ включает обеспечение трех отдельных и электрически изолированных вертикальных графитовых электродов дуги постоянного тока в печи над материалами сырья в камере. Обеспечивают регулируемый и поддающийся регулировке постоянный выходной ток на каждом из электрически изолированных графитовых электродов дуги постоянного тока для инициирования соответствующей плазменной дуги с каждого из электродов для нагревания материалов сырья в камере для обеспечения ванны из расплавленного материала в камере. Высота дуги на каждом из графитовых катодных электродов постоянного тока по отношению к материалам сырья устанавливается в отдельности до установления желаемого напряжения для обеспечения ванны из расплавленного материала в камере, при этом напряжение варьируется в зависимости от суммы сопротивления плазменной дуги над ванной расплавленного материала и сопротивления плазменной дуги в ванне из расплавленного материала. Ванну из расплавленного материала перемешивают, при этом перемешивание обеспечивают за счет тока, протекающего через ванну из расплавленного материала и создающего джоулев нагрев в сочетании с магнитным эффектом тока, протекающего через ванну из расплавленного материала, вызывающим местный волновой эффект или перемешивающее движение в ванне из расплавленного материала.

Согласно другому предпочтительному аспекту способа согласно настоящему изобретению, инициирование плазменной дуги осуществляют путем подачи питания на источники мощности плазмы, опускания графитовых катодных электродов постоянного тока в печь до контакта со слоем металла или сплава металлов, покрывающим обратные анодные электроды, выступающие вверх в ванну из расплавленного материала. Стартовый ток выбирают для приложения при помощи источника постоянного тока, вызывающего ток, после чего графитовые катодные электроды постоянного тока поднимают до тех пор, пока не установится желаемое напряжение.

Согласно другому предпочтительному аспекту способа согласно настоящему изобретению, инициирование плазменной дуги осуществляют путем подачи напряжения на источники мощности плазменной дуги. Стартовый ток выбирают для приложения путем подачи непрерывного тока, получая напряжение при разомкнутой цепи, но без протекания тока. Графитовые катодные электроды дуги постоянного тока опускают до контакта со слоем металла или сплава металлов, покрывающим обратные анодные электроды, выступающие вверх в ванну из расплавленного материала. Когда течет ток, графитовые катодные электроды дуги постоянного тока поднимают до тех пор, пока не установится желаемое напряжение.

Согласно другому предпочтительному аспекту способа согласно настоящему изобретению, кусочки металла или сплава металлов обеспечивают внутри камеры, где расположена ванна из расплавленного материала, для создания слоя расплавленного металла или сплава металлов в контакте с обратными анодными электродами.

Согласно другому предпочтительному аспекту способа согласно настоящему изобретению, указанный способ дополнительно включает обеспечение графитовых электродов дуги постоянного тока на постоянной высоте, и варьирование выходного постоянного тока на каждом из источников мощности плазмы в режиме синусоидальной или квадратной волны в заданном диапазоне тока для содействия перемешиванию, при одновременном поддержании температуры ванны из расплавленного материала.

Согласно другому предпочтительному аспекту способа согласно настоящему изобретению, указанный способ дополнительно включает регулирование выходного постоянного тока каждого из источников энергии так, чтобы они имели смещение в  $120^\circ$  для распределения локального эффекта по всей ванне из расплавленного материала.

Согласно другому предпочтительному аспекту способа согласно настоящему изобретению, металл или сплав металлов включает низкоуглеродистый феррохром.

Согласно другому предпочтительному аспекту способа согласно настоящему изобретению, кусочки низкоуглеродистого феррохрома обеспечивают внутри камеры, где расположена ванна из расплавленного материала, для создания слоя расплавленного низкоуглеродистого феррохрома в контакте с обратными анодными электродами.

Другой аспект настоящего изобретения представляет собой металл или сплав металлов, полученный при помощи способа согласно настоящему изобретению.

Другой аспект настоящего изобретения представляет собой низкоуглеродистый феррохром, полученный при помощи способа согласно настоящему изобретению.

#### **Краткое описание некоторых видов чертежей**

Фиг. 1 представляет собой иллюстративную диаграмму, показывающую один пример варианта реализации системы для осуществления способов согласно настоящему изобретению для получения низкоуглеродистого феррохрома и извлекаемого шлака из хромита и других материалов сырья с использованием алюминия и магния, содержащихся в одном из материалов сырья, т.е. в ИБН;

фиг. 2 представляет собой иллюстрацию одной части системы для получения одного из материалов сырья, применяемого в системе и способе согласно настоящему изобретению, т.е. хромитной руды;

фиг. 3 представляет собой иллюстрацию наподобие фиг. 2, показывающую другую часть системы для получения другого материала сырья, применяемого в системе и способе, т.е. жженой извести, обра-

зующей извлекаемый шлак, получаемый при помощи указанных системы и способа;

фиг. 4 представляет собой иллюстрацию наподобие фиг. 2 и 3, показывающую другую часть материала сырья, применяемого в системе и способе, т.е. песка, образующего извлекаемый шлак, получаемый при помощи указанных системы и способа;

фиг. 5 представляет собой иллюстрацию наподобие фиг. 2-4, показывающую другую часть системы для получения другого материала сырья, применяемого в системе и способе, т.е. рециркулированных твердых веществ, образующих извлекаемый шлак, получаемый при помощи указанных системы и способа;

фиг. 6 представляет собой подобие фиг. 2-5, показывающих другую часть системы для получения последнего материала сырья, применяемого в системе и способе, т.е. ИБН;

фиг. 7 представляет собой увеличенный вертикальный вид в разрезе части примера плазменно-дуговой печи, образующей часть системы согласно настоящему изобретению и подходящей для применения в способах согласно настоящему изобретению, указанная часть составляет выходное отверстие или "летку" для шлака, получаемого в печи;

фиг. 8 представляет собой увеличенный вертикальный вид в разрезе плазменно-дуговой печи, наподобие показанной на фиг. 1;

фиг. 9 представляет собой увеличенный вертикальный вид в разрезе по линии 9-9 с фиг. 8;

фиг. 10 представляет собой трехмерное изображение дуговой печи, показанной на фиг. 8, в ходе перемешивания ванны из расплавленного материала в печи.

#### **Подробное описание одного примера предпочтительного варианта изобретения**

Рассмотрим различные фигуры на чертежах, где аналогичные условные обозначения относятся к аналогичным деталям, где на фиг. 1 показан один пример системы 20, выполненной согласно настоящему изобретению для осуществления способа согласно настоящему изобретению для получения гранул низкоуглеродистого феррохрома (здесь и далее называемых "гранулы продукта феррохрома") и гранул шлака (здесь и далее называемых "гранулы продукта шлака"). Гранулы продукта феррохрома подходят для различных применений, например, "тонкой подстройки" сталей с высоким содержанием хрома в ковшовых печах. Гранулы продукта шлака подходят для различных применений, например, для производства цемента и бетона.

Система 20 в основном включает смеситель 22, питающий бункер 24, необязательный нагреватель 26, плазменно-дуговую печь 28, пылеуловительную камеру 30, поворотный ковш 32 со связанным желобом для выпуска горячего металла 34, устройство отливки 36, дробильное устройство 38, сито 40, мусорный контейнер 42, контейнер для сбора гранул низкоуглеродистого феррохрома 44, сухой гранулятор шлака 46 и контейнер для сбора гранул сухого шлака 48. Смеситель выполнен с возможностью получения материалов сырья для получения гранул продукта феррохрома и гранул продукта шлака. Указанными материалами сырья являются хромитовая руда 50, известь (например, жженный известняк) 52, песок 54, рециркулированные материалы 56 и алюминиевые гранулы 58. Алюминиевые гранулы получают из алюминиевых контейнеров или банок для напитков, которые могут быть использованными или неиспользованными, хотя с точки зрения экономичности предпочтительно полностью ИБН или частично ИБН и частично неиспользованные алюминиевые банки для напитков.

В любом случае материалы сырья обеспечивают из соответствующих питающих бункеров в смеситель 22 в желаемом и регулируемом соотношении между собой. Для этого каждый из питающих бункеров для материалов сырья снабжен традиционным указателем уровня (не показан) со связанными традиционными регулируемыми весами-дозатором с пневматическим транспортом (не показаны) для обеспечения желаемого количества конкретного материала сырья в смеситель 22.

Смеситель представляет собой традиционное устройство (например, такое, как доступно от Kelly Duplex Mill & Manufacturing Co.) и выполнен с возможностью смешивания материалов сырья между собой и обеспечения смешанных материалов сырья для подачи в питающий бункер 24. В смеситель подают газообразный азот для вытеснения кислорода из воздуха, захваченного материалами сырья. Питающий бункер представляет собой традиционное устройство (например, такое как доступно от Coreion K-Tron) и выполнен с возможностью хранения материалов и подачи их с регулируемой скоростью в плазменно-дуговую печь 28 таким образом, что алюминий в ИБН находится в стехиометрическом соотношении с хромитом. Для этого применяют чашку весов (не показана) в питающем бункере, так что количество материалов сырья, подаваемых в печь, можно регулировать при помощи регулирующего устройства (не показано). Когда материалы сырья находятся в печи и печь действует, алюминий из ИБН действует как восстанавливающий агент для протекания экзотермической реакции восстановления кислорода в оксиде хрома и оксиде железа в хромите с образованием расплавленного низкоуглеродистого феррохрома с расплавленным шлаком, плавающим на поверхности расплавленного низкоуглеродистого феррохрома. Расплавленный шлак, образованный в экзотермической реакции алюминия с хромитом, приводит к получению оксида алюминия, находящегося в шлаке, но не в низкоуглеродистом феррохроме.

Также следует отметить, что ИБН обычно содержит приблизительно до двух процентов магния (например, обычно примерно 1,9 % магния). Ушки банок, имеющиеся во многих таких банках, содержат больше магния для придания банке дополнительной прочности. В любом случае магний в ИБН также

будет обеспечивать экзотермическую реакцию с хромитом в дополнение к экзотермической реакции алюминия с хромитом в печи. Применение магния для дополнения к экзотермической реакции приведет к добавлению оксида магния в шлак, но не в низкоуглеродистый феррохром.

Согласно одному предпочтительному аспекту настоящего изобретения, способ представляет собой непрерывный способ, в котором расход реагентов и подвод энергии к плазменным электродам в плазменно-дуговой печи 28 регулируют при помощи регулирующего устройства, чтобы обеспечить отсутствие избыточного охлаждения расплавленной фазы при изменении расхода материалов сырья для изменения скорости экзотермической реакции.

В примере варианта реализации системы 20, показанном на фиг. 1, плазменная печь представляет собой электродугую печь. Фиг. 8 представляет собой несколько упрощенный вертикальный вид в разрезе примера варианта реализации печи 28, выполненной согласно настоящему изобретению. Печь 28 включает камеру 28А, в которую подают материалы сырья и в которой протекает экзотермическая реакция, приводящая к восстановлению оксида хрома и оксида железа в хромите под действием алюминия и магния в алюминиевых ИБН. Камеру 28А заполняют инертным газом, например, азотом, при положительном давлении по меньшей мере 0,5 дюйм водного столба (124,4 Па) выше атмосферного давления, чтобы исключить попадание кислорода в печь. Экзотермическая реакция в камере приводит к получению расплавленного низкоуглеродистого феррохрома 10 в ванне на дне камеры 28А и расплавленного шлака 12, плавающего поверх расплавленного низкоуглеродистого феррохрома 10. Функцией плазменного "пламени" является регулирование температуры печи и шлака в желаемом диапазоне (например, от 1650 до 1850°C) для поддержания очень текучего слоя шлака в который поступают и взаимодействуют реагенты. Атмосфера азота, поддерживаемая внутри печи, обеспечивает отсутствие взаимодействия алюминиевого реагента с газообразным кислородом до поступления в слой шлака, и чтобы оксид хрома в любых испарениях из печи не окислялся до формы хром VI.

Камера 28А включает нижний выход или летку 28В, из которой при открывании вытекает расплавленный низкоуглеродистый феррохром 10, и верхний выход или летку 28С, из которой при открывании вытекает расплавленный шлак 12. Плазменно-дуговая печь также имеет выходное отверстие 28D, через которое из печи выходят газообразный азот и отходящие с дымовым газом частицы пыли, образовавшиеся во время работы печи. Эту пыль собирают в пылеуловительной камере 30, из которой указанную пыль перемещают и собирают в мусорном контейнере 42.

Согласно одному предпочтительному аспекту системы согласно настоящему изобретению, как лучше всего видно на фиг. 8 и 9, дуговая печь 28 содержит три графитовых катодных электрода плазменной дуги прямого действия 28Е и шесть анодных электродов 28F (хотя можно применять и меньшее число анодных электродов). Катодные электроды проходят через верхнюю часть или крышу 28N печи в камеру 28А. Катодные электроды 28Е расположены по кругу на равном расстоянии друг от друга, т.е. на 120°. Каждый из катодных электродов 28Е получает энергию от отдельно регулируемого источника постоянного тока ИТ. Электроды 28Е могут представлять собой графитовые стержни круглого сечения с резьбовым соединением, благодаря которому можно присоединить дополнительные электродные стержни к графитовым стержням, если концы графитовых стержней израсходованы в результате действия весьма высокой температуры пламени электрической плазмы. Охлаждающую воду обеспечивают для оболочки и крыши печи из устройства для водяного охлаждения печи, такого как теплообменник с воздушным охлаждением или градирня (не показаны). Анодные электроды 28F проходят вертикально через кирпичи 28Р на дне печи и в дно камеры 28А, которая образует ванну, в которой получают расплав из расплавленного низкоуглеродистого феррохрома 10 и расплавленного шлака 12. Анодные электроды 28F также расположены по кругу на равном расстоянии друг от друга, на 60°. Как будет подробнее описано ниже, электроды 28Е и 28F действуют для обеспечения эффективного перемешивания расплавленного низкоуглеродистого феррохрома и расплавленного шлака.

Как известно, составы шлака с агрессивным составом оказывают сильное вредное воздействие на огнеупорные материалы, составляющие дуговую печь. Даже в условиях "неподвижного" шлака скорость эрозии высока и скоро возникает катастрофический отказ. Комбинация агрессивного шлака и движения шлака к выходу (например, к летке) из печи создает крайне сложные условия для огнеупорного материала. Эту проблему обычно решают путем применения заменяемого блока летки или предпочтительно путем применения охлаждаемого водой отводящего желоба для шлака с огнеупорной облицовкой. У охлаждаемого водой отводящего желоба имеется два недостатка. Во-первых, затруднено начало потока шлака даже по существу с "верхом" из жидкого шлака. Во-вторых, трудно поддерживать адекватный поток шлака, когда "верх" шлака уменьшается.

Один предпочтительный аспект настоящего изобретения включает непрерывное извлечение расплавленного шлака из плазменно-дуговой печи через трубку из карбида кремния, образующую часть летки для шлака, и приложение дополнительного тепла к расплавленному шлаку внутри указанной трубки в летке для шлака 28С. Для этого печь 28 включает узел летки для шлака 28G, лучше всего показанный на фиг. 7. Фиг. 7 представляет собой увеличенный вертикальный вид в разрезе части плазменно-дуговой печи возле верхнего выхода или цилиндрической летки 28С, через которую расплавленный шлак 12 выходит из печи. Работа узла летки для шлака 28G обеспечивает возможность непрерывного

вытекания шлака 12 из печи для поддержания постоянной глубины слоя шлака в печи.

Узел летки для шлака 28G в основном включает стальную коробку контейнера 28H, огнеупорную облицовку 28I, индукционную катушку с водяным охлаждением 28J, трубку из карбида кремния 28K и концевые соединения (не показаны) для соответствующей подачи охлаждающей воды и электрического тока высокой частоты в индукционную катушку с водяным охлаждением 28J. Электрический ток высокой частоты обеспечивают при помощи источника тока (не показан). Индукционная катушка с водяным охлаждением представляет собой трубчатый спиральный элемент, выполненный из электропроводящего материала, например, меди, через который пропускают охлаждающую воду. Индукционная катушка 28J окружает трубку из карбида кремния 28K. Трубка из карбида кремния 28K действует как "токоприемник" для электромагнитного поля, создаваемого током высокой частоты, обеспечиваемым источником тока высокой частоты. Как известно, термин "токоприемник" в индукционном нагреве обозначает электропроводящий материал, помещенный между индукционной нагревающей катушкой и нагреваемым материалом, в данном случае шлаком 12. Применение токоприемника обеспечивает эффективное средство нагревания нетокопроводящих материалов, таких как шлак. Токоприемник нагревают электромагнитным полем, создаваемым индукционной катушкой, так что шлак нагревается главным образом за счет излучения и теплопроводимости от нагретой трубки токоприемника. Материал карбид кремния, применяемый в качестве трубки токоприемника, весьма стоек к химическому и абразивному воздействию расплавленного шлака и имеет температуру плавления 2730°C и температуру диссоциации свыше 2000°C. Трубка токоприемника 28K может быть изготовлена при помощи различных способов, включая связанный нитридом нитрид кремния. Медная катушка 28J вмонтирована в литой огнеупорный материал по существу по всей длине летки 28C. Дополнительное тепло применяют к шлаку внутри трубки при помощи источника высокочастотного переменного электрического тока, соединенного с медной индукционной электрической катушкой с водяным охлаждением 28J. Электроэнергию для питания индукционной нагревательной катушки регулируют путем изменения частоты связанного источника тока. Протекание переменного электрического тока по индукционной катушке создает магнитное поле, выделяющее тепло в трубке токоприемника, через которую протекает шлак из печи для выгрузки в желоб (не показан), подающий расплавленный шлак в сухой гранулятор шлака 46.

Дополнительное тепло, обеспечиваемое шлаку от индукционно нагреваемой трубки токоприемника, можно регулировать для управления температурой и вследствие этого вязкостью шлака, непрерывно вытекающего из плазменной печи, и для обеспечения того, чтобы шлак не затвердел внутри летки. Дополнительное тепло можно также применять для расплавления шлака, застывшего в летке в случае прекращения подачи в печь или потери электроснабжения плазменной печи.

В случае поломки любой из составных частей, узел летки для шлака выполнен с возможностью удаления из оболочки печи целого узла, состоящего из стальной коробки контейнера, огнеупорной облицовки, медной индукционной катушки, трубки токоприемника из карбида кремния и концевых соединений для подачи охлаждающей воды и электрического тока высокой частоты в медную индукционную катушку, из замены на аналогичный узел летки для шлака. Для этого стальная коробка контейнера 28H с внутренними компонентами присоединена или смонтирована с возможностью отсоединения в печи в месте летки 28C при помощи фланца 28L, соединенного с оболочкой печи 28M.

Другим важным признаком плазменно-дуговой печи 28 является то, что проход для шлака через узел летки для шлака 28G, т.е. летка для шлака 28C, направлен вверх под острым углом, например, приблизительно 25°, как показано на фиг. 7. Направление летки 28C вверх под острым углом выполняет важную функцию. В частности, если в шлаке находятся частицы расплавленного низкоуглеродистого феррохрома, когда шлак течет вверх по летке 28C к выходу из летки, расплавленный низкоуглеродистый феррохром (металл) будет падать или стекать вниз по направленной под углом летке, поскольку он имеет почти вдвое большую плотность, чем шлак. Таким образом, расплавленный металлический низкоуглеродистый феррохром будет возвращаться внутрь печи из летки 28C и, в свою очередь, будет выходить из летки 28B, то время как сам шлак будет вытекать из летки 28C.

Как отмечено выше, в плазменно-дуговой печи 28 применяют три катодных электрода 28E и до шести анодных электродов 28F. Эти электроды сконструированы и действуют в соответствии с другим аспектом способа согласно настоящему изобретению, в результате чего обеспечивается выгодное перемешивание ванны из расплавленного материала в печи. Этот эффект перемешивания обеспечивает и поддерживает хорошо перемешанный, весьма текучий слой шлака по всей поверхности ванны в печи, так что материал сырья быстро поглощается расплавленным слоем, в котором протекают алюмотермическая и магнетермическая реакции восстановления хромитной руды. Благодаря работе печи в не содержащей кислорода атмосфере алюминий и магний не вступают в реакцию до поступления в слой расплавленного шлака. Экзотермические реакции алюминия и магния с хромитной рудой в слое шлака, таким образом, нагревают слои шлака и металла. Задачей плазменного нагревания является подъем и поддержание температуры слоя шлака, образованного шлакообразующими оксидами в хромитной шпинели и флюсах извести и кремнезема, вводимых в смесь сырья. Дополнительной задачей плазменного нагревания является подъем и поддержание температуры слоя шлака для снижения вязкости шлака, так чтобы шлак легко и

непрерывно вытекал через летку для шлака 28С. Нагревание плазменными дугами также компенсирует потери тепла через огнеупорные кирпичи и системы водяного охлаждения, составляющие часть плазменной печи.

Следует отметить, что такое положение, при котором конструкция электродов в печи, связанных с ними электрических компонентов и их режим работы обеспечивают выгодное перемешивание, не ограничено получением низкоуглеродистого феррохрома в плазменно-дуговой печи. Так, конструкцию и способ применения электродов для перемешивания слоев шлака и металла в плазменно-дуговой печи можно применять для выгодного получения различных других типов металлов и сплавов в плазменно-дуговой печи.

Обратимся к фиг. 8 и 9, на которых можно видеть, что три отдельных и электрически изолированных графитовых электрода постоянного тока дуги прямого действия 28Е проходят вертикально через крышу 28N плазменной печи 28. Каждый электрод 28Е снабжен независимой регулировкой по высоте, благодаря чему можно регулировать положение каждого из электродных стержней над ванной из расплавленного материала. Для этого печь обеспечивают тремя соответствующими вертикальными опорными колоннами 28О, каждая из которых включает подвижную горизонтальную балку, включающую электрически изолированный фиксирующий механизм для удержания и изменения вертикального положения связанного катодного электрода 28Е и соединительный зажим для подачи электричества к связанному катодному электроду. Каждый катодный электрод обеспечивают электричеством из соответствующего отдельно регулируемого источника постоянного тока плазменной дуги ИТ. Балка, механизм зажима электрода и зажим для подачи электрического тока каждой из опорных колонн 28О выполнены с возможностью перемещения в вертикальном направлении для подъема или спуска связанного катодного электрода для регулирования длины дуги и для учета абляции и эрозии графита под действием электрической дуги от конца электрода до расплава. Как отмечено ранее, электродные стержни выточены с внутренней и внешней резьбой на концах, благодаря чему к ним можно присоединить дополнительные графитовые стержни, когда концы графитовых стержней расходуются под действием высоких температур пламени плазменной дуги. Эта особенность обеспечивает возможность непрерывной работы электродов. Дополнительные стержни могут быть присоединены к электродам при помощи подвижного узла крана с поворотной стрелой.

Каждый из трех источников постоянного тока для плазменной дуги ИТ для трех катодных электродов 28Е обеспечивает регулируемую и поддающуюся регулировке постоянную подачу тока, при этом напряжение можно варьировать в зависимости от "дугового" сопротивления. "Дуговое" сопротивление представляет собой сумму сопротивления открытой дуги и сопротивления в расплавленной ванне до анодного возврата. Источники тока ИТ соединены как единая положительная общая точка с возвратными электродами (анодами) 28F. Возвратные анодные электроды могут быть изготовлены из термостойкой стали и смонтированы так, чтобы проходить вертикально вверх через огнеупорное основание печи для обеспечения контакта со слоем металла, например, расплавленным феррохромом, в ванне, и таким образом замыкать электрический ток через слой металла и шлака в ванне до трех графитовых катодных электродов 28Е. Точки присоединения возвратных анодных электродов охлаждают водой для предотвращения перегрева.

Инициирование плазменной дуги можно осуществлять по меньшей мере двумя путями согласно способу согласно настоящему изобретению. Оба способа начинаются аналогично, т.е. с подачи энергии от источников тока ИТ и затем опускания катодных электродов 28Е внутрь печи до контакта с возвратным электродом в ванне, образованным слоем металла низкоуглеродистого феррохрома 10, находящимся в контакте или покрывающим возвратные анодные электроды 28F. Чтобы обеспечить наличие слоя металла низкоуглеродистого феррохрома, находящегося в контакте или покрывающего возвратные анодные электроды 28F, до начала инициирования можно поместить кусочки низкоуглеродистого феррохрома на дно печи, благодаря чему плазменная дуга будет образовывать слой расплавленного металла в контакте с верхней частью анодных электродов 28F. Один из путей инициирования плазменной дуги включает выбор настройки "Стартовый ток" и настройки "Включить плазму" на источниках тока дуги ИТ. За поджигом дуг (протекание тока показано) следует подъем электродов до установления соответствующего напряжения. Другой путь инициирования плазменных дуг осуществляют путем выбора настроек "Стартовый ток" и "Включить плазму" на источниках тока для плазмы, но при отсутствии протекания тока, с последующим опусканием электродов в печь до контакта с возвратным электродом в ванне или покрывающим слоем металла. За поджигом дуг (протекание тока показано) следует подъем электродов до установления соответствующего напряжения. В любом случае, когда в ванне печи наблюдают лужу жидкости, следует запустить процесс перемешивания.

Ток, протекающий от плазменной электрической дуги через расплавленную ванну, обеспечивает "джоулев нагрев" за счет сопротивления шлака протеканию тока через слой шлака в непосредственной близости от попадания пламени дуги от каждого плазменного катодного электрода. Это увеличение температуры в результате джоулева нагрева изменяет вязкость шлака на отдельном участке. Этот эффект в сочетании с вызванным магнитным полем эффектом "буравчика" вызывает вращательное движение объема шлака с меньшей вязкостью в непосредственной близости от попадания пламени дуги, создаваемого



протеканием электрического тока через резистивный слой шлака. Такой непрерывно движущийся слой шлака содержит взаимодействующие и восстановленные частицы металла алюминия и феррохрома. Кроме того, в слое металла в ванне наблюдается локальное магнитное перемешивающее действие "буравчика". Тот факт, что шесть анодных электродов смещены относительно трех катодных электродов, как четко показано на Фиг. 9, подчеркивает перемешивающее действие и вызывает локальное "волновое" действие или перемешивающее движение во всей ванне из расплавленного материала.

Согласно настоящему изобретению применяют три катодных электрода 28Е для достижения указанного действия по всей ванне. В частности, при удержании электродов на фиксированной высоте выходной постоянный ток каждого из источников тока для плазмы варьируют в режиме синусоидальной или квадратной волны в заданном диапазоне, чтобы способствовать локальному эффекту перемешивания шлака и металла при сохранении общей температуры ванны выше 1750°C. Напряжение дуг будет варьироваться в зависимости от общего сопротивления электрического пути, состоящего из длины дуг в атмосфере азота над ванной, сопротивления слоя шлака и сопротивления слоя ванны металла. Выходной ток каждого источника тока можно варьировать со сдвигом во времени на 120° для обеспечения локального перемешивающего эффекта, окружающего каждый электрод во всей ванне для усиления перемешивающего движения, нагревания и перемешивания материала сырья, поступающего в слой расплавленного шлака. Перемешивающий эффект схематически проиллюстрирован на фиг. 10. Следует отметить, что слой шлака также протекает по направлению к летке и вытекает из печи через летку для шлака 28С, обеспечивая непрерывное движение шлака.

Материалы сырья вводят в камеру печи 28А через загрузочное окно печи 28Q. Хотя и не обязательно, предпочтительно применять необязательный предварительный нагреватель 26 для предварительного нагревания смешанных материалов сырья из питающего бункера 24 перед введением смешанных материалов сырья в печь 28. Благодаря этому требуется меньше энергии в печи для доведения смеси материалов сырья до диапазона рабочих температур (например, от 1650 до 1850°C).

Поворотный ковш 32 представляет собой традиционное устройство (например, такое, как доступно от TeeMark Manufacturing, Inc. под торговым знаком D&E Foundry Ladles) и выполнен с возможностью получения расплавленного низкоуглеродистого феррохрома из печи через заданные интервалы, когда в печи накопится достаточно металла. Металл выпускают из печи в предварительно нагретый ковш путем открывания летки 28В, расположенной в огнеупорной кладке и выпуска металла в ковш через канал с огнеупорной облицовкой (не показан). После завершения выпуска металла из печи летку 28В запечатывают огнеупорной смесью, композиция которой разработана для указанной цели.

Ковш действует периодически для перенесения загруженного в него расплавленного низкоуглеродистого феррохрома в желоб для металла 34 и для наклона и выливания указанного расплавленного низкоуглеродистого феррохрома в желоб для расплавленного металла. Желоб для расплавленного металла 34 представляет собой традиционное устройство (например, такое, как доступно от Economy Industrial, LLC) и выполнен с возможностью получения расплавленного низкоуглеродистого феррохрома, доставляемого при помощи поворотного ковша, для транспортировки расплавленного низкоуглеродистого феррохрома в разливное устройство (не показано), из которого расплавленный низкоуглеродистый феррохром подают, не разбрызгивая, в устройство для литья 36. Устройство для литья 36 представляет собой традиционное устройство для отливки слитков (например, такое, как доступно от Economy Industrial, LLC). Оно в основном включает множество чугунных или стальных форм 36А на ленточном конвейере 36В и выполнено с возможностью собирать расплавленный низкоуглеродистый феррохром в формы 36А на конвейере 36В для получения соответствующих слитков и охлаждать указанные слитки водой из источника воды 36С, благодаря чему слитки затвердевают. Затвердевшие слитки падают в дробильное устройство 38. Указанное устройство включает по меньшей мере одну щеку 38А, дробящую слиток с образованием раздробленных гранул, падающих на сито 40. Дробильное устройство 38 представляет собой традиционное устройство (например, такое как щековая дробилка с коленчатым рычагом и двумя распорными плитами Pennsylvania Crusher, доступное от TerraSource Global). Раздробленные гранулы, имеющие достаточный заранее заданный размер, например, приблизительно более 6 мм, образуют готовый продукт гранул низкоуглеродистого феррохрома согласно настоящему изобретению, т.е. продукт гранул феррохрома, и поступают в накопительный бункер 44. Бункер 44 представляет собой традиционное промышленное приспособление и выполнен с возможностью удержания продукта гранул феррохрома до тех пор, пока их не потребуется выгрузить или большими партиями в грузовики 60, или малыми партиями в мешки 62, которые можно транспортировать на металлургический комбинат или литейный завод, в зависимости от того, для чего будут применять продукт гранул феррохрома.

Раздробленные гранулы низкоуглеродистого феррохрома, выходящие из дробильного устройства 38, размер которых меньше 6 мм, здесь и далее называют "мелочью". Мелочь падает через сито в мусорный контейнер 42, из которого ее повторно вводят в формы для слитков 36А перед добавлением расплавленного низкоуглеродистого феррохрома, благодаря чему она смешивается с расплавленным низкоуглеродистым феррохромом, который затем вводят в формы из желоба для расплавленного металла 34.

Следует отметить, что хотя применение мелочи указанным способом предпочтительно, также

включен вариант, в котором мелочь из мусорного контейнера можно рециркулировать с вторичными материалами 56 из материалов сырья в смеситель 22 для смешивания с другими материалами сырья для введения в печь 28. В этом случае мелочь при введении в печь падает через расплавленный шлак в расплавленный феррохром, где плавится и входит в состав расплавленного феррохрома. В обоих случаях мелочь вновь попадает в продукт гранул феррохрома.

Следует отметить, что хотя продукт гранул феррохрома предпочтительно получают при помощи устройства для литья слитков 36 и дробильного устройства 38, как уже описано, включен также вариант, в котором его получают другими средствами, например, путем гранулирования потока расплавленного металла феррохрома в воде в резервуаре для гранулирования феррохрома (не показан) и связанной сушилке (не показана). Одна из таких систем гранулирования доступна от UHT, Kista, Швеция. В этом случае расплавленный низкоуглеродистый феррохром направляют посредством желоба для расплавленного металла 34 в резервуар для гранулирования феррохрома. Резервуар для гранулирования феррохрома выполнен с возможностью разбиения расплавленного низкоуглеродистого феррохрома на капельки и быстрого охлаждения этих капелек водой, обеспечиваемой источником поступления воды, при этом капельки затвердевают. Затвердевшие капельки транспортируют из резервуара для гранулирования феррохрома на сито 38. Гранулы феррохрома, размер которых превышает 6 мм, переносятся на сите 38 в сушилку (не показана), в которой тепло, обеспечиваемое внутри сушилки, удаляет любую влагу, оставшуюся на указанных гранулах после их охлаждения в резервуаре для гранулирования феррохрома. Сушилка представляет собой традиционное устройство (например, такое, как доступно от UHT, Kista, Швеция.). Высушенные гранулы низкоуглеродистого феррохрома, выходящие из сушилки, образуют продукт гранул феррохрома, который направляют в накопительный бункер 44.

Следует в этой связи отметить, что комплекс или завод, построенный в соответствии с этим примером системы 20 для осуществления способа согласно настоящему изобретению, предпочтительно является полностью обособленным или заключенным в здание. В частности, единственным материалом, получаемым в способе согласно настоящему изобретению, который покидает завод, являются два указанных выше продукта, а именно продукт гранул феррохрома и продукт гранул шлака. Все остальное, например, пыль из печи (которая может содержать оксиды хрома) и любые высыпки материалов в части системы 20, в которой происходит обращение с материалами, попадают обратно в смеситель 22 в качестве вторичных материалов 56. Это действие делает способ согласно настоящему изобретению не только экономичным, но и безопасным для окружающей среды.

Как указано выше, из верхнего выходного отверстия или летки 28С печи 28 при открывании летки вытекает расплавленный шлак 12, получаемый в способе согласно настоящему изобретению, в частности, расплавленный шлак также обеспечивают во входное отверстие сухого гранулятора шлака 46. Сухой гранулятор шлака представляет собой традиционное устройство (например, такое, как доступно от CSIRO, Clayton Австралия или от держателя лицензии MCCC, Китай) и выполнен с возможностью разбиения расплавленного шлака на капельки и быстрого охлаждения указанных капелек воздухом, обеспечиваемым источником подаваемого воздуха 46А. Это действие приводит к образованию гранул шлака. В частности, расплавленный шлак разбрызгивают или разделяют под действием центробежной силы, создаваемой вращающимся диском для получения капелек, которые затем охлаждают и отверждают под действием большого объема охлаждающего воздуха с низкой температурой из вентилятора или источника воздуха 46А. этим способом получают гранулы подходящего размера, например, в диапазоне приблизительно от 0,2 до 3 мм для применения при производстве цемента. Кроме того, и значительно, применение сухого гранулятора шлака обеспечивает возможность рекуперации избыточного тепла в виде горячего воздуха через отверстие 46В, который затем можно применять для непрямого нагрева при помощи предварительного нагревателя 26. По сравнению со способом водяного гранулирования сухое гранулирование обеспечивает экономически и экологически обоснованный подход благодаря экономии воды и рекуперации ценного избыточного тепла. Горячий воздух из сухого гранулятора шлака 46 можно также обеспечивать в сушилку хромитной руды 72 (будет описана далее).

Продукт гранул шлака из сухого гранулятора шлака падает в накопительный бункер для шлака 48. Этот бункер представляет собой традиционное промышленное приспособление и выполнен с возможностью удерживания продукта гранул шлака до тех пор, пока их не выгружают большими партиями в грузовики 64.

В связи с этим следует отметить, что химический состав шлака, образуемого в способе/процессе согласно настоящему изобретению критически важен для коммерческой целесообразности указанного способа/процесса. С этой точки зрения желательно минимизировать температуру плавления шлака и одновременно максимизировать его текучесть для обеспечения легкого вытекания из печи. То есть, способ согласно настоящему изобретению включает оптимизацию химического состава шлака для улучшения его текучести при рабочих температурах. Для этого количество жженого известняка регулируют исходя из количества оксида магния, оксида алюминия и диоксида хрома в минерале хромита. Например, если минерал хромит богат диоксидом кремния, способ будет требовать введения большего количества жженого известняка. Если хромитная руда имеет низкое содержание диоксида кремния, в способе будут применять меньше известняка. Температура плавления минералов хромита может составлять от 1700 до

2000°C. Способ/процесс согласно настоящему изобретению включает применение наименьшей возможной температуры плавления, которая будет приводить к максимальной текучести. Состав шлака не будет влиять на экзотермическую реакцию восстановления хромита до низкоуглеродистого феррохрома, но будет влиять на текучесть получаемого шлака.

Оксид хрома и оксид железа в хромитной руде народятся в форме минерала шпинели. Экзотермическая реакция в стехиометрических условиях для восстановления кислорода в оксиде хрома и оксиде железа может не обеспечивать достаточно тепла для обеспечения превращения в жидкость всей массы материалов сырья. Для обеспечения оптимизации восстановления оксида хрома и оксида железа общепринятой практикой является применение большего количества алюминия, например 105-120%, чем теоретически требуется. Эту методику можно применять в способе/процессе согласно настоящему изобретению. Кроме того, тепло, обеспечиваемое в электрической плазменно-дуговой печи гарантирует, что тепла будет достаточно для расплавления всей массы материалов сырья с образованием сильно нагретой ванны из шлака и расплавленного металла.

Материал сырья хромита 50 хранят в питающем бункере комплекса или завода, в котором расположена система 20, и обеспечивают из исходного источника, например, шахты, как показано на фиг. 2. То есть, как можно видеть на фиг. 2, руду из шахты транспортируют на судне 66 (предполагается, что шахта расположена в месте, требующем транспортировки на судне), а затем перевозят на грузовиках 68 в штабель 70 в комплексе или заводе, где расположена система 20. Хромит высушивают в традиционной ротационной сушилке 72, а затем хранят высушенный хромит в комплексе в питающем бункере 74 до применения.

Материал сырья жженого известняка 52 также хранят в питающем бункере комплекса или завода, в котором расположена система 20, и обеспечивают из исходного источника, например, перерабатывающего карьера, как показано на фиг. 3. То есть, как можно видеть на фиг. 3, жженую известь из перерабатывающего карьера транспортируют при помощи компрессорных автоцистерн 76 в питающий бункер 78 комплекса или завода, в котором расположена система 20 до применения.

Материал сырья песок 54 также поставляют и хранят в виде сухого материала в питающем бункере комплекса, в котором расположена система 20, и получают из исходного источника, например, перерабатывающего карьера, как показано на фиг. 4. Таким образом, как показано на фиг. 4, песок с перерабатывающего карьера транспортируют при помощи компрессорных автоцистерн 80 в питающий бункер 82 комплекса или завода, в котором расположена система 20 до применения.

Твердые вещества из способа 56 также хранят в питающем бункере комплекса или завода, в котором расположена система 20, и обеспечивают из пылеуловительной камеры 30 и из мусорного контейнера 40 в питающий бункер 86 комплекса или завода, в котором расположена система 20, до применения, как показано на фиг. 5.

ИБН 58 также хранят в питающем бункере комплекса или завода, в котором расположена система 20, и как показано на фиг. 6, получают из пункта приема металлолома в виде брикетов ИБН. Брикеты транспортируют на грузовиках 77 в комплекс, где их хранят в штабеле 90. Из штабеля брикеты разбивают и подают в традиционный шредер 92 для выделения неалюминиевого твердого вещества. Затем неалюминиевое твердое вещество отделяют и очищают. В частности, измельченные ИБН подают в традиционный магнитный сепаратор 94 для удаления любых магнитных частиц. Оттуда подают ИБН в традиционный промывочный барабан 96, включающий вращающееся сито для удаления любой грязи, жидкости и воды. Оттуда ИБН пропускают через вихревой сепаратор 98 для удаления любых не содержащих железо металлов, древесины и другого мусора. Оттуда подают ИБН в традиционный воздушный шабер 100 для удаления любой оставшейся воды, пластика и бумаги. Полученные очищенные и отделенные ИБН затем подают в традиционную печь для удаления покрытия 102 для удаления любых чернил, лака и других покрытий. ИБН с удаленным покрытием затем подают в традиционную плавилку 104, где они плавятся в инертной атмосфере или в атмосфере с низким содержанием кислорода для минимизации окисления поверхности расплавленного алюминия для получения расплавленных алюминиевых отходов. Затем расплавленные алюминиевые отходы подают в традиционный гранулятор 106, в котором расплавленные алюминиевые отходы из ИБН каплют на диск для получения капелек расплавленного алюминия, которые охлаждают водой для отверждения капелек. Отвержденные капельки алюминия затем подают в традиционный шредер 108, который нарезает отвержденные капельки на алюминиевые гранулы в заданном диапазоне размеров, например, от 0,1 до 2,0 мм, наиболее подходящем для восстановления оксида хрома и оксида железа из хромита в плазменно-дуговой печи. Оттуда алюминиевые гранулы подают в питающий бункер 110 комплекса или завода, в котором расположена система 20, до применения. Как вариант, из расплавленного алюминия можно вытягивать проволоку, которую нарезают на кусочки выбранного желательного диапазона размеров.

В связи с этим следует отметить, что система 20 и ее компоненты, описанные выше, составляют только один пример варианта реализации различных систем, которые могут быть построены согласно настоящему изобретению для осуществления способа или процесса согласно настоящему изобретению. Кроме того, описанный пример способа является только примером различных способов или процессов получения низкоуглеродистого феррохрома согласно настоящему изобретению. Так, например, тепло, получаемое в сухом грануляторе шлака,

можно не рекуперировать для обеспечения предварительного нагревателя 26. Кроме того, мелочь феррохрома можно не использовать повторно, если ей можно найти другое коммерческое применение. Также частицы пыли из плазменной печи, собираемые в пылеуловительной камере, можно не рециркулировать в контейнер для мусора 40. Кроме того, можно применять другие типы дуговых печей, резервуаров для гранулирования и грануляторов вместо примеров печи 28, устройства для литья слитков 36, дробильного устройства 38 и сухого гранулятора шлака 46, соответственно. Другие части примера системы 20 и стадии примера способа/процесса, описанные выше, могут быть исключены, при желании, при условии, что система и способ/процесс обеспечивает применение алюминиевых банок для напитков, ИБН или неиспользованных алюминиевых банок для напитков, или их комбинации, в качестве экзотермического источника для восстановления оксида хрома и оксида железа в хромитной руде и для получения шлака, который имеет достаточную текучесть для обеспечения проведения получения низкоуглеродистого феррохрома в экономичном режиме, и который сам по себе легко поддается гранулированию с образованием гранул шлака для коммерческого применения.

Без дальнейших уточнений вышеизложенное настолько полно иллюстрирует настоящее изобретение, что другие могут, применяя текущие или будущие знания, адаптировать его для применения в различных условиях эксплуатации.

### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ получения низкоуглеродистого феррохрома из хромитной руды, включающий подачу смеси материалов сырья, содержащей гранулы алюминиевых отходов, жженую известь, кремнеземный песок и хромитную руду, в плазменно-дуговую печь, причем указанная хромитная руда содержит оксид хрома и оксид железа, указанные материалы сырья находятся в стехиометрическом соотношении для восстановления указанных оксида хрома и оксида железа с образованием низкоуглеродистого феррохрома; нагревание указанных материалов сырья в указанной плазменно-дуговой печи до температуры в диапазоне приблизительно от 1650 до 1850°C, при этом алюминий в указанных алюминиевых гранулах действует в качестве восстанавливающего агента для протекания экзотермической реакции восстановления указанных оксида хрома и оксида железа в указанной хромитной руде с образованием расплавленного низкоуглеродистого феррохрома с расплавленным шлаком, плавающим на поверхности указанного расплавленного низкоуглеродистого феррохрома; и извлечение указанного расплавленного низкоуглеродистого феррохрома из указанной плазменно-дуговой печи.
2. Способ по п.1, дополнительно включающий извлечение указанного расплавленного шлака из указанной плазменно-дуговой печи и гранулирование указанного извлеченного расплавленного шлака с образованием сухих частиц гранулированного шлака.
3. Способ по п.1, отличающийся тем, что указанная плазменно-дуговая печь включает по меньшей мере один электрод дуги прямого действия.
4. Способ по п.1, отличающийся тем, что указанная плазменно-дуговая печь включает до трех графитовых горелок.
5. Способ по п.1, отличающийся тем, что указанный способ является непрерывным.
6. Способ по п.1, отличающийся тем, что количество алюминиевых гранул, применяемых в указанной смеси материалов сырья, эквивалентно приблизительно от 105 до 120% от стехиометрического количества алюминия, необходимого для взаимодействия с указанной хромитной рудой в указанной смеси материалов сырья.
7. Способ по п.1, дополнительно включающий извлечение расплавленного шлака из указанной плазменно-дуговой печи через летку, и приложение дополнительного тепла к указанному расплавленному шлаку в указанной летке.
8. Способ по п.7, отличающийся тем, что указанное дополнительное тепло представляет собой индукционное нагревание.
9. Способ по п.8, отличающийся тем, что указанное индукционное нагревание обеспечивают при помощи индукционной нагревательной спирали и трубки токоприемника из карбида кремния, расположенной в указанной летке.
10. Способ по п.1, дополнительно включающий извлечение расплавленного шлака из указанной плазменно-дуговой печи через летку, причем указанная летка направлена вверх под острым углом, благодаря чему при попадании расплавленного низкоуглеродистого феррохрома в указанный шлак указанный расплавленный низкоуглеродистый феррохром будет падать или стекать вниз по указанной летке в указанную плазменно-дуговую печь по причине того, что указанный расплавленный низкоуглеродистый феррохром имеет большую плотность, чем указанный шлак.
11. Способ по п.1, дополнительно включающий извлечение расплавленного шлака непрерывно из указанной плазменно-дуговой печи через трубку из карбида кремния, образующую часть летки, и приложение дополнительного тепла к указанному расплавленному шлаку внутри трубки в летке.
12. Способ по п.1, отличающийся тем, что в указанную плазменно-дуговую печь подают азот под давлением выше атмосферного давления для предотвращения проникновения кислорода внутрь указан-

ной плазменно-дуговой печи.

13. Способ по п.12, отличающийся тем, что указанный азот нагревают и указанное давление составляет по меньшей мере 0,5 дюйм водяного столба (124,4 Па) выше атмосферного давления.

14. Способ получения металла или сплава металлов из материалов сырья, находящихся в камере плазменно-дуговой печи, при этом указанный металл или сплав металлов содержит низкоуглеродистый феррохром, и указанный способ включает

обеспечение трех отдельных электрически изолированных графитовых катодных дуговых электродов постоянного тока в указанной печи над указанными материалами сырья в указанной камере;

обеспечение регулируемого и поддающегося регулировке выхода постоянного тока к каждому из указанных электрически изолированных графитовых катодных дуговых электродов постоянного тока от источников тока плазмы для инициирования соответствующей плазменной дуги от каждого из указанных графитовых катодных дуговых электродов постоянного тока для нагревания указанных материалов сырья в указанной камере для получения ванны из расплавленного материала в указанной камере;

индивидуальную регулировку высоты каждого из указанных графитовых катодных дуговых электродов постоянного тока по отношению к указанным материалам сырья до достижения желаемого напряжения для получения ванны из расплавленного материала в указанной камере, указанное напряжение варьируется в зависимости от суммы сопротивления плазменной дуги над указанной расплавленной ванной и сопротивления плазменной дуги в указанной ванне из расплавленного материала; и

перемешивание указанной ванны из расплавленного материала, причем указанное перемешивание получают в результате протекания тока через указанную ванну из расплавленного материала, что обеспечивает джоулев нагрев в сочетании с магнитным эффектом протекания тока через указанную ванну из расплавленного материала, результатом чего является волновое действие или перемешивающее движение в указанной ванне из расплавленного материала,

где материалы сырья содержат гранулы алюминиевых отходов, жженую известь, кремнеземный песок и хромитную руду, причем указанная хромитная руда содержит оксид хрома и оксид железа, указанные материалы сырья находятся в стехиометрическом соотношении для восстановления указанных оксида хрома и оксида железа с образованием низкоуглеродистого феррохрома, и

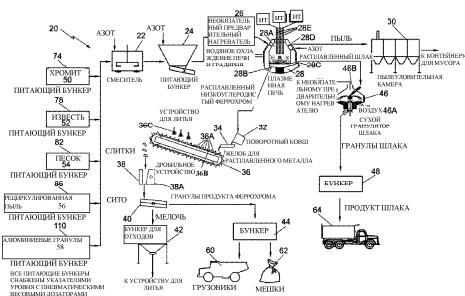
где нагревание указанных материалов сырья в указанной плазменно-дуговой печи до температуры в диапазоне приблизительно от 1650 до 1850°C, при этом алюминий в указанных алюминиевых гранулах действует в качестве восстанавливающего агента для протекания экзотермической реакции восстановления указанных оксида хрома и оксида железа в указанной хромитной руде с образованием расплавленного низкоуглеродистого феррохрома с расплавленным шлаком, плавающим на поверхности указанного расплавленного низкоуглеродистого феррохрома.

15. Способ по п.14, отличающийся тем, что указанное инициирование указанных плазменных дуг осуществляют путем подачи энергии на указанные источники тока плазмы, опускания указанных графитовых катодных дуговых электродов постоянного тока до контакта со слоем указанного металла или сплава металлов, покрывающим возвратные анодные электроды, направленные вверх в указанную ванну из расплавленного материала, и выбора стартового тока для приложения указанными источниками тока плазмы, чтобы вызвать протекание тока, после чего указанные графитовые катодные дуговые электроды постоянного тока поднимают до достижения желаемого напряжения.

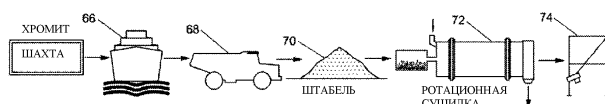
16. Способ по п.15, дополнительно включающий обеспечение кусочков указанного металла или сплава металлов в указанной камере, в которой находится указанная ванна из расплавленного материала, для создания слоя указанного металла или сплава металлов в контакте с указанными возвратными анодными электродами.

17. Способ по п.14, дополнительно включающий поддержание указанных графитовых катодных дуговых электродов постоянного тока на заданной высоте и варьирование указанного выхода постоянного тока на каждом из указанных источников тока плазмы в режиме синусоидальной или квадратной волны в заданном диапазоне, чтобы содействовать перемешиванию и одновременному поддержанию температуры указанной ванны из расплавленного материала.

18. Способ по п.14, дополнительно включающий регулирование указанного выхода постоянного тока на каждом из указанных источников тока плазмы так, чтобы наблюдался сдвиг во времени на 120° для распределения местного перемешивающего действия по всей ванне из расплавленного материала.



Фиг. 1



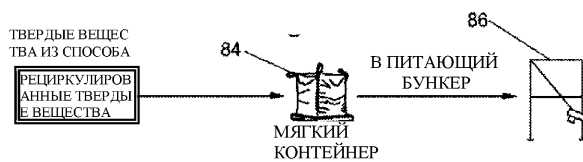
Фиг. 2



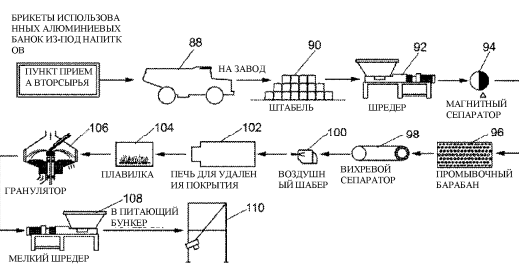
Фиг. 3



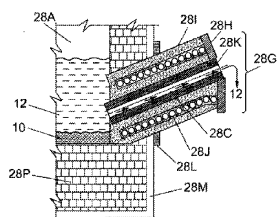
Фиг. 4



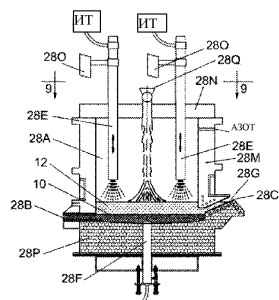
Фиг. 5



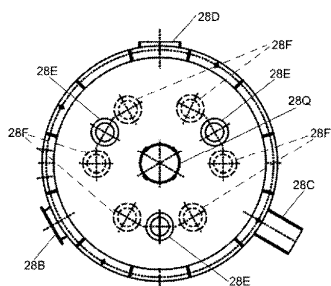
Фиг. 6



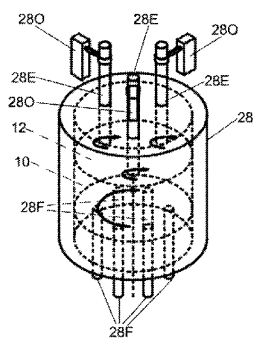
Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9



Фиг. 10

