

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **032170**(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2019.04.30

(21) Номер заявки
201691001

(22) Дата подачи заявки
2014.12.16

(51) Int. Cl. **C22B 1/20** (2006.01)
C22B 7/02 (2006.01)
C22B 23/02 (2006.01)

(54) СПОСОБ ПРИМЕНЕНИЯ ПЫЛИ, ОБРАЗОВАННОЙ В ПРОЦЕССЕ ПОЛУЧЕНИЯ ФЕРРОНИКЕЛЯ, И СПЕЧЕННЫЕ ОКАТЫШИ, ПОЛУЧЕННЫЕ ДАННЫМ СПОСОБОМ

(31) **20136274**

(32) **2013.12.17**

(33) **FI**

(43) **2016.11.30**

(86) **PCT/FI2014/051004**

(87) **WO 2015/092132 2015.06.25**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ОУТОТЕК (ФИНЛЭНД) ОЙ (FI)

(72) Изобретатель:
**Крогерус Хельге, Мякеля Паси,
Кивинен Виса (FI)**

(74) Представитель:
Поликарпов А.В. (RU)

(56) ALEXOPOULOU I.E.: "THE DUST RECYCLING PROBLEM OF THE FENI-PRODUCTION AT LARYMNA/GREECE. ÖPART 1: OPERATIONAL AND EXPERIMENTAL RESULTS", ERZMETALL, GMBD - MEDIENVERLAG, CLAUSTHAL-ZELLERFELD, DE, vol. 47, no. 9, 1 September 1994 (1994-09-01), pages 562-571, XP000471458, ISSN: 0044-2658, the whole document

EP-A1-1927667

GB-A-1443511

LAMPROPOULOU P.G. ET AL.: "AGGLOMERATION OF DUST AND SLUDGE OF THE FENI PRODUCTION//AGGLOMERIERUNG VON STAEUBEN UND SCHLAEMMEN AUS DER FENI-ERZEUGUNG//L'AGGLOMERATION DES POUSSIÈRES ET BONES OBTENUES DANS LA PRODUCTION DU FENI", ERZMETALL, GMBD - MEDIENVERLAG, CLAUSTHAL-ZELLERFELD, DE, vol. 56, no. 9, 1 January 2003 (2003-01-01), pages 551-557, XP001177299, ISSN: 0044-2658, the whole document

(57) Для использования пыли и мелких фракций руды, образованных в процессе получения ферроникеля, из пыли и тонкоизмельченного рудного материала получают сырье для гранулирования. Сырье для гранулирования гранулируют с получением сырых окатышей, которые спекают в печи для спекания со стальным транспортером, включающей одну или более зон для сушки, нагревания, спекания и охлаждения окатышей. Спеченные окатыши можно направить во вращающуюся обжиговую печь для частичного восстановления никеля и железа. В качестве альтернативы окатыши можно направить в плавильную печь для получения ферроникеля вместе с частично восстановленной латеритовой рудой, полученной из вращающейся обжиговой печи. Определены оптимальные условия для спекания окатышей из пыли, образованной в процессе получения ферроникеля.

032170 B1

032170 B1

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к способу применения пыли, образованной в процессе получения ферроникеля. Настоящее изобретение также относится к спеченным окатышам, полученным данным способом.

Уровень техники

Никельсодержащие латеритовые руды, которые используют в качестве основного минерального сырья в процессе получения ферроникеля, являются по своему характеру сыпучими и пылеобразными. Содержание никеля в латеритах обычно составляет от 0,95 до 3 мас.%. Таким образом, в процессе получения ферроникеля необходимо переработать большое количество рудного материала. Отношение шлака к металлу при выплавке является высоким, обычно даже выше 10. Следовательно, потребление электричества в процессе получения ферроникеля является высоким.

Латеритовые руды содержат большое количество различных типов летучих соединений, в целом свыше 10 мас.%. Одним из таких летучих соединений является гетит, структура которого также содержит никель и гидратированные силикаты Mg и (Mg, Al). В силикатах магния также может присутствовать никель. Кроме того, латеритовые руды также содержат 10-20 мас.% влаги, в зависимости от места расположения месторождения.

Процесс получения ферроникеля начинается с дробления и просеивания руды, в результате чего образуется мелкодисперсная рудная пыль. В настоящее время эту пыль в основном хранят в отвалах, и только небольшую часть пыли применяют в процессе получения ферроникеля.

Раздробленную и просеянную руду сначала подают в сушильный барабан, где удаляют часть содержащейся в руде влаги. В этот момент получают небольшое количество влажной пыли. В настоящее время утилизация влажной пыли является трудной и неэффективной.

Из сушильного барабана руду направляют во вращающуюся обжиговую печь, где происходит окончательная сушка и обжиг руды, а также частичное восстановление никеля и железа. Из-за высокой тенденции руды к крошению на этой стадии из руды образуется большое количество мелкодисперсного материала и пыли.

Количество мелкодисперсного материала, извлеченного из вращающейся обжиговой печи, обычно составляет более 20% от массы руды, загруженной во вращающуюся обжиговую печь. Пыль из вращающейся обжиговой печи сначала отделяют в сухом циклоне, а затем в мокром скруббере.

Размер зерен пыли как из циклона, так и из скруббера является очень малым, обычно менее 50 мкм. Удельная поверхность пыли является высокой из-за высокой пористости частиц пыли.

Количество пыли, образованной в процессе получения ферроникеля, является значительным, а содержание никеля в пыли выше, чем в исходной руде, поскольку пыль является в основном прокаленной. Пыль также содержит углерод, который происходит из угля, используемого в качестве восстанавливающего агента во вращающейся обжиговой печи. Существенное количество никеля связано с этой пылью. В настоящее время использование никеля, который связан с этой пылью, находится на очень низком уровне из-за ряда трудностей в переработке пыли.

Цель изобретения

Целью настоящего способа является устранение или, по меньшей мере, уменьшение проблем, существующих на данном уровне техники.

Более конкретно, целью настоящего способа является обеспечение нового способа использования никельсодержащей пыли, образованной в процессе получения ферроникеля.

Краткое описание изобретения

Более конкретно, представленный способ включает получение сырья для гранулирования из пыли, образованной в процессе получения ферроникеля, и из тонкоизмельченной латеритовой руды с размерами зерен менее 3 мм, после чего это сырье для гранулирования гранулируют с получением сырых окатышей. Сырые окатыши спекают в печи для спекания со стальным транспортером с получением спеченных окатышей. Печь для спекания со стальным транспортером содержит одну или более зон для сушки, нагревания, спекания и охлаждения окатышей. В конце спеченные окатыши подают либо во вращающуюся обжиговую печь для частичного восстановления никеля и железа, либо в плавильную печь для получения ферроникеля вместе с частично восстановленной латеритовой рудой, поступающей из вращающейся обжиговой печи.

Для спекания можно применять процесс Outotec спекания на стальном транспортере.

Согласно одному из воплощений изобретения размер частиц тонкоизмельченной латеритовой руды составляет менее 2 мм.

Согласно одному из воплощений изобретения в сырье для гранулирования можно вводить пыль из сухого циклонного очистителя и/или пыль из мокрого скруббера.

Согласно одному из воплощений изобретения количество тонкоизмельченной латеритовой руды, введенной в сырье для гранулирования, составляет 0,1-50%, предпочтительно 1-45%, более предпочтительно 5-40% от массы сырья для гранулирования. На основании проведенных испытаний (описанных далее) можно предположить, что добавление тонкоизмельченной латеритовой руды (дробленой руды) явно повышает прочностные характеристики окатышей. По-видимому, проще получить прочные окаты-

ши из пыли, образованной в процессе получения ферроникеля, путем добавления, по меньшей мере, небольшого количества тонкоизмельченной латеритовой руды.

Согласно одному из воплощений изобретения в сырье для гранулирования добавляют бентонит в количестве 0,1-2% или в альтернативном случае 0,1-1,5%, предпочтительно 0,5-1,2% от массы сырья для гранулирования. На основе проведенных испытаний (описанных далее) можно предположить, что добавление бентонита повышает прочность окатышей.

Согласно одному из воплощений изобретения температура сушильного газа, подаваемого в зону сушки печи для спекания со стальным транспортером, составляет 100-500°C, а время выдержки в зоне сушки составляет 10-15 мин. В альтернативном случае температура сушильного газа, подаваемого в зону сушки печи для спекания со стальным транспортером, может составлять 250-420°C, а время выдержки в зоне сушки может составлять 10-12 мин. Также можно применять температуру 300-420°C.

Согласно одному из воплощений изобретения температура нагревающего газа, подаваемого в зону нагрева печи для спекания со стальным транспортером, составляет 1000-1300°C, а время выдержки в зоне нагрева составляет 8-15 мин. В альтернативном случае температура нагревающего газа, подаваемого в зону нагрева печи для спекания со стальным транспортером, может составлять 1100-1200°C, а время выдержки в зоне нагрева может составлять 9-11 мин.

Согласно одному из воплощений изобретения температура спекающего газа, подаваемого в зону спекания устройства для спекания со стальным транспортером, составляет 1150-1350°C, а время выдержки в зоне спекания составляет 10-16 мин. В альтернативном случае температура спекающего газа, подаваемого в зону спекания устройства для спекания со стальным транспортером, может составлять 1200-1250°C, а время выдержки в зоне спекания может составлять 10-16 мин.

Согласно одному из воплощений изобретения температура слоя материала в зоне спекания составляет 1300-1500°C. В альтернативном случае температура слоя материала в зоне спекания может составлять 1360-1400°C.

Спеченные никельсодержащие окатыши, полученные способом, представленным в настоящем документе, могут иметь содержание никеля, даже превышающее 2%, в некоторых случаях выше 4%. Отношение Fe/Ni в спеченных окатышах может быть ниже 10,0, предпочтительно ниже 5. В альтернативном случае отношение Fe/Ni в спеченных окатышах может составлять ниже 5,0, предпочтительно ниже 4,8. Кажущаяся пористость окатышей может составлять 20-40% или 20-35%, предпочтительно 25-30%.

Получение спеченных окатышей из мелких фракций руды и пыли, образованной в процессе получения ферроникеля, позволяет более эффективно использовать отходы, которые ранее хранили в отвалах.

Спеченные окатыши можно подавать во вращающуюся обжиговую печь для частичного восстановления перед плавкой. В альтернативном случае спеченные окатыши можно подавать на плавку вместе с частично восстановленной латеритовой рудой, полученной из вращающейся обжиговой печи.

Этот новый способ позволяет осуществить экономически эффективную утилизацию пыли, образованной при получении ферроникеля, которую ранее хранили в отвалах.

Способ является безопасным для окружающей среды в том отношении, что он позволяет использовать и вторично перерабатывать отходы (пыль, образованную в процессе получения ферроникеля).

Подробное описание изобретения

Латеритовые руды очень легко крошатся, и при их переработке образуется большое количество мелких фракций и пыли. Количество никеля в этих мелких фракциях и пыли является заметным и представляет ценность. Гранулирование и спекание смесей мелких фракций руды и пыли было рассмотрено на установках лабораторного масштаба и опытных установках. Гранулирование и спекание были исследованы с использованием грануляционного диска и реактора периодического действия (определенный тип котловой печи), которые моделировали реальный процесс. Цель заключалась в применении для спекания окатышей печи для спекания со стальным транспортером. Были указаны температурные профили и времена выдержки в различных зонах устройства для спекания со стальным транспортером, необходимые для получения спеченных окатышей, пригодных для плавки.

В первой группе экспериментов в качестве материала сырья использовали только пыль из сухих циклонных очистителей и мокрых скрубберов в различных соотношениях. Во второй группе экспериментов сухую и влажную пыль смешивали с тонкоизмельченной рудой в различных соотношениях. Тонкоизмельченную руду с размером частиц менее 2 мм добавляли к смеси в количестве до 50 мас.%. В качестве альтернативы можно применять тонкоизмельченную руду с размером частиц менее 3 мм. В некоторых испытаниях, описанных в настоящем документе, к смеси добавляли тонкоизмельченную руду с размером частиц менее 2 мм в количестве 30 мас.%.

Химический анализ материалов сырья, применяемых в испытаниях, приведен в табл. 1. Состав мелких фракций из сухого циклона и тонкого шлама из мокрого скруббера был довольно похожим. Как мелкие фракции из циклона, так и тонкий шлам из скруббера содержали больше никеля и общего железа ($Fe_{общ}$), чем латеритовая руда. Потери при прокаливании и содержание влаги в пыли были ниже, чем в латеритовой руде.

Таблица 1

Химический анализ руды и пыли			
Компонент	Латеритовая руда	Мелкие фракции из циклона	Тонкий шлам из скруббера
Ni	2,6	4,3	4,4
Fe _{общ}	14,1	20,8	21,6
Fe ²⁺	2,5	3,1	2,7
MgO	17,6	14,3	14,5
Al ₂ O ₃	1,7	3,3	3,3
SiO ₂	50,4	47,7	44,8
п.п.п.	9,4	2,4	2,4
Влага	10,4	2,9	4,0

п.п.п. - потери при прокаливании.

Руду дробили и просеивали для достижения размера частиц менее 2 мм. Размер зерен пыли из циклона и тонкого шлама из скруббера составлял менее 50 и менее 44 мкм соответственно. Пыль была получена при очистке газа из вращающейся обжиговой печи.

В сырье для гранулирования добавляли бентонит в качестве связующего агента. Количество бентонита составляло 0,1-1,0% от сухой массы сырья. Количество кокса или другого углеродсодержащего материала, добавленного к сырью для гранулирования, составляло 0-2%, в зависимости от содержания углерода в пыли.

Содержание влаги в сырых окатышах составляло 19-21% из-за очень малого размера частиц и высокой пористости полученных окатышей. Прочность на сжатие в холодном состоянии влажных окатышей составляла 1,3-2,0 кг/окатыш диаметром 12 мм. Прочность на сжатие в холодном состоянии обычно означает прочность на сжатие после охлаждения окатыша, т.е. когда он находится при комнатной температуре (например, 16, 20 или 24°C). После сушки прочность на сжатие в холодном состоянии сырых окатышей составляла 4-12 кг/окатыш диаметром 12 мм. Сырые окатыши были достаточно прочными для спекания.

Спекание сырых окатышей проводили на модельном оборудовании для спекания со стальным транспортером. Технологические параметры были отрегулированы на основе состава материала спекаемого сырья и свойств конечного продукта.

Прочность на сжатие спеченных окатышей находилась в диапазоне 80-210 кг/окатыш в различных частях слоя продукта. Диаметр окатышей составлял несколько меньше 12 мм, поскольку окатыши были несколько сжаты из-за высокой пористости сырых окатышей.

Результаты химического анализа спеченных окатышей приведены в табл. 2. Содержание никеля в спеченных окатышах составляло более 4 мас.%. Железо (Fe_{общ}) присутствовало в основном в виде Fe³⁺. Отношение Fe/Ni составляло примерно 4,6, в лучшем случае.

В оборудовании для спекания со стальным транспортером температура газа на стадии сушки составляла 250-420°C. Время выдержки на стадии сушки составляло 10-12 мин из-за высокого содержания влаги в окатышах.

Таблица 2

Химический анализ спеченных окатышей					
Ni	Fe _{общ}	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	SiO ₂
4,4	20,0	3,7	13,0	0,4	47,2

Температура нагревающего газа, подаваемого на стадию нагревания, составляла 1100-1200°C. Время выдержки на стадии нагревания составляло 9-11 мин. На стадии нагревания можно было достичь температур слоя продукта от 1270 до 1370°C, в зависимости от состава поступающего сырья и количества присутствующего горючего угля.

Температура газа для спекания, подаваемого на стадию спекания, составляла 1200-1250°C. Время выдержки на стадии спекания составляло 10-16 мин. Температура слоя в ходе испытаний составляла от 1360 до 1400°C при получении окатышей хорошего качества.

Спеченные окатыши были в высокой степени пористыми. Кажущаяся пористость окатышей составляла 25-30%, поэтому способность окатышей к восстановлению была хорошей. В испытаниях на частичное восстановление, которые проводили при 800°C, с газообразным СО и 5% кокса в смеси, степень металлизации никеля составляла более 60%, а степень металлизации железа составляла более 40%.

Износостойкость окатышей была достаточно высокой, чтобы выдержать дальнейшую обработку во вращающейся обжиговой печи с последующим плавлением или просто спекание вместе с частично восстановленной латеритовой рудой, полученной из вращающейся обжиговой печи.

Для того чтобы достичь лучшего понимания эффективности и функционирования способа, были проведены испытания на гранулирование и спекание на опытной установке. Описание этих испытаний приведено далее. Результаты этих испытаний подтверждают функционирование способа и дают реальное основание для проектирования способа в промышленном масштабе.

Были проведены испытания на гранулирование на установке периодического действия. Целью гранулирования в периодическом режиме являлось исследование свойств смеси трех различных материалов и их смесей в отношении гранулирования. Результаты химического анализа испытуемых материалов приведены в табл. 1.

Гранулирование проводили на диске диаметром 2,0 м и глубиной 0,30 м. Максимальная скорость вращения диска составляла 20 об/мин. В некоторых испытаниях размолотые латеритовые руды и пыль смешивали со связующим агентом и с мелким коксом. Время смешивания составляло 10 мин. В некоторых испытаниях в смеситель добавляли немного воды.

Шихту вручную загружали на диск. Сырье для гранулирования увлажняли распылителями воды в соответствии с формированием окатышей. Время гранулирования составляло приблизительно 50-60 мин. Желаемый размер окатыша (т.е. диаметр окатыша) составлял 12 мм. Скорость вращения диска регулировали в соответствии с формированием окатышей.

Качество сырых окатышей определяли путем измерения прочности на сжатие в холодном состоянии сырых и высушенных окатышей. Также измеряли содержание влаги в сырых окатышах.

Испытания на спекание в периодическом режиме проводили с использованием устройства для спекания периодического действия, проиллюстрированного на фигуре, которое включает газовую (например, бутановую) горелку 21, камеру 22 горения или сжигания, реактор 28 спекания и газопроводы 23. Газопроводы 23 были снабжены охлаждаемыми водой клапанами 24 для проведения газообразных продуктов горения в реактор 28, а отходящих газов (или отработанных газов) по газопроводам 27 в систему газоочистки (не показана на чертеже). Позиция 25 представляет собой входное отверстие для дополнительного воздуха, предназначенного для регулирования температуры газа.

Процесс спекания непрерывно регулировали с помощью автоматизированной системы управления технологическим процессом. Реактор 28 включает металлическую решетку 26 и футерован огнеупорными и изолирующими литыми смесями.

На фигуре показаны положения нескольких термопар, установленных внутри слоя окатышей для измерения температур в ходе процесса спекания. Позициями 3 и 11 обозначены термопары для подаваемого газа; позициями 4, 5, 6, 7, 12 и 13 обозначены термопары в слое окатышей; позицией 8 обозначена термопара в защитном слое; позицией 9 обозначена термопара решетки и позицией 10 обозначена термопара для отходящего газа. В испытаниях на спекание, проводимых в периодическом режиме, измеряли температурные профили внутри слоя окатышей в ходе спекания. Эти величины дают информацию о температурах спекания. Также в ходе испытаний наблюдался перепад давления от верхней части к нижней части реактора спекания.

Газообразный бутан сжигали с воздухом или с обогащением кислородом, в зависимости от стадии процесса. Периодический процесс спекания включал следующие стадии: i) сушка газообразными продуктами горения; ii) нагревание газообразными продуктами горения с использованием обогащения кислородом; iii) спекание газообразными продуктами горения с использованием обогащения кислородом и iv) охлаждение воздухом.

Для каждой зоны были заранее выбраны количество газа и время выдержки. Температуру газообразных продуктов горения регулировали посредством количества бутана, коэффициента избытка воздуха и обогащения кислородом. Газообразные продукты горения поступали в реактор сверху. Охлаждающий воздух подвели в реактор через отверстие 25. Влажные окатыши (область, обозначенная позицией 29 на фигуре) загружали в реактор на нижний слой (защитный слой, обозначенный позицией 30) из спеченных хромитовых окатышей. Масса влажных окатышей составляла около 15-18 кг.

Спеченные окатыши выгружали из реактора после окончания программы и охлаждения устройства (до комнатной температуры). Для проведения лабораторных испытаний слой спеченных окатышей разделяли на три различные части (верхний, средний и нижний слои). Защитный слой заменяли после каждого испытания.

Химический анализ материалов сырья, применяемых в испытаниях, приведен в табл. 1. Содержание никеля в пыли из циклона и в тонком шламе из скруббера явно выше, чем содержание никеля в руде, как показано в табл. 1. Пыль была почти полностью прокалена, и, таким образом, содержание никеля в ней было высоким.

В некоторых испытаниях применяли бентонит в качестве связующего материала. В табл. 3 показан химический анализ бентонита, использованного в испытаниях.

Таблица 3

Химический анализ бентонита

Летучие вещества, %	SiO ₂ , %	Al ₂ O ₃ , %	MgO, %	CaO, %	S, %	Na, %	K, %	Fe _{общ} , %
6,5	61,7	23,9	2,4	1,3	0,3	1,6	0,5	2,8

Химический анализ мелких фракций кокса, применяемых в испытаниях на спекание, проводимых в опытной установке периодического действия, показан в табл. 4.

Таблица 4

Химический анализ мелких фракций кокса

Летучие в-ва, %	C _{fix}	Al ₂ O ₃ , %	MgO, %	CaO, %	S, %	Na ₂ O, %	K ₂ O, %	Fe _{общ} , %	SiO ₂ , %
1,5	78,3	3,3	0,1	0,2	0,8	0,2	0,2	0,9	5,8

В табл. 5 показано распределение по размерам (ситовый анализ) Ni латеритовой руды.

Размер зерен образцов исходной руды составлял менее 25 мм, а средний размер зерен составлял около 5 мм. Размер зерен дробленой руды составлял менее 2,38 мм, и она содержала 51,5 мас.%. частиц менее 74 мкм.

Оба вида пыли были очень мелкими, и измеренные площади удельной поверхности составляли 16,14 м²/г для пыли из циклона и 35,05 м²/г для тонкого шлама из скруббера. Размер частиц пыли из циклона составлял менее 50 мкм, а средний размер - 15 мкм; соответствующие размеры для тонкого шлама из скруббера составляли соответственно 44 и 4,6 мкм.

Таблица 5

Ситовый анализ руды

Фракция		Руда, дробленая	Руда, до дробления
[меш]	[мм]		
	25,0		100,00
	15,0		94,99
	10,0		85,53
	8,0		
	6,73		
4	4,76		53,21
6	3,36		
8	2,38	100,00	33,80
12	1,68	99,98	
16	1,19	99,95	19,58
20	0,841	98,75	
30	0,595	91,85	12,31
40	0,42	82,06	
50	0,297	73,47	
70	0,21	63,92	
100	0,149	57,44	
140	0,105		
200	0,074	51,53	
270	0,053		
325	0,044		
400	0,037	43,85	

Ситовый анализ мелких фракций кокса для гранулирования и спекания был следующим:

41% -74 мкм,

25% -37 мкм.

Размер частиц бентонита составлял менее 40 мкм. Основные фазы испытываемых материалов представлены в табл. 6.

Таблица 6

Основные фазы испытываемых материалов

Фаза	Латеритовая руда	Мелкие фракции из циклона	Тонкий шлам из скруббера
Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ , клинохризотил	X		X
(Mg,Al) ₃ (Si,Al) ₂ O ₅ (OH) ₄ , лизардит	X		
(Mg ₅ Al)(Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈ , клинохлор	X		
SiO ₂ , кварц	X		X
MgSiO ₃ , энстатит		X	X
FeOOH, гетит	X		
(Mg _{0,6} Fe _{0,4}) ₂ SiO ₄ , форстерит ферроан	X		
NiFe ₂ O ₄ , треворит		X	X
Mg ₂ SiO ₄ , форстерит		X	X
Fe ₃ O ₄ , магнетит		X	X
Fe ₂ O ₃ , гематит		X	

Структура зерен руды была рыхлой, и имелось большое количество разломов. Зерна также содержали различные фазы. Поэтому руда не является стойкой по отношению к истиранию, и можно предска-

затягивать значительное образование пыли во вращающейся обжиговой печи.

Микроструктура руды состояла в основном из различных силикатов и оксидов железа. Пыль содержала различные прокаленные силикаты магния, диоксид кремния, магнетит и гематит. Никель появлялся в пыли в виде треворита.

В табл. 7 показаны испытываемые шихты и содержание влаги во влажных окатышах. Как можно видеть, в некоторых шихтах в сырье для гранулирования добавляли примерно 30% тонкоизмельченной латеритной руды.

Таблица 7

Состав шихты при проведении испытаний

Номер шихты	Мелкие фракции из циклона, %	Тонкий шлам из скруббера, %	Бентонит, %	Руда, %	C _{вх} , %	Влага, %
1	85	15	0,5			20,87
2	85	15	1,0		1,0	21,0
3	85	15	1,0		1,5	21,1
4	85	15	1,0		1,5	20,7
5	85	15	1,0		1,8	20,0
6	85	15	1,0		1,8	20,0*
7	85	15	1,0			21,0*
8	85	15	1,0			19,0*
9	85	15	1,0			20,0*
10	85	15	1,0			19,0*
11	85	15	1,0			20,0*
12	85	15	1,0		0,5	26,0*
13	85	15	1,0			19,9*
14	85	15	1,0			19,3*
15	85	15	1,0			18,6*
16	85	15	1,0			20,0*
17	85	15	1,0			20,0*
18	85	15	1,0			20,0*
19	59,5	10,5	1,0	30		18,3*
20	59,5	10,5	1,0	30		18,3*
21	59,5	10,5	1,0	30		18,3*
22	59,5	10,5	1,0	30		18,3*

Сначала испытания на гранулирование проводили в лаборатории, но прочность сырых окатышей была слишком низкой. Некоторые испытания на гранулирование проводили с диском большего размера, расположенным в опытной установке. В случае диска большего размера было легче получить компактные окатыши с удовлетворительной прочностью. Эффект такого типа часто встречается, когда гранулируют очень легкие и мелкозернистые материалы. Состав подаваемой смеси и величины средней прочности (прочность во влажном и в сухом состоянии) гранулированных окатышей (на диске большего размера) приведены в табл. 8. Количество бентонита в этих испытаниях составляло 1%, а степень предварительного смачивания в смесителе составляла 5%.

Таблица 8

Состав шихты, содержание влаги и прочность окатышей во влажном и в сухом состоянии

Испытание на гранулирование	Мелкие фракции из циклона, %	Тонкий шлам из скруббера, %	Латеритовая руда ¹⁾ , %	Влажность окатышей, %	Прочность F ₁₂ ²⁾ во влажном состоянии, кг/окатыш	Прочность F ₁₂ ²⁾ в сухом состоянии, кг/окатыш
Пример 1	85,0	15,0	—	20	1,2	3,0-5,0
Пример 2	59,5	10,5	30 ¹⁾	21	1,5	7,0

¹⁾ Руда, раздробленная до - 2 мм.

²⁾ Если диаметр окатышей составляет 12 мм, то $F_{12} = (12^2/D^2) \cdot F_b$, где D - диаметр измеряемого окатыша, F_b - прочность на сжатие измеряемого окатыша.

В выбранных испытаниях прочности окатышей во влажном и в сухом состоянии были достаточно высокими для проведения процесса спекания. По-видимому, добавление бентонита повышает прочность окатышей. Добавление дробленой руды (приблизительно 30%) явно повышает величины прочности окатышей. Содержание влаги при гранулировании пыли составляло около 20%.

Величины прочности на сжатие спеченных окатышей в холодном состоянии в выбранных испытаниях представлены в табл. 9 (в пересчете на диаметр 12 мм).

Таблица 9

Прочность на сжатие в холодном состоянии спеченных окатышей

№ испытания	Прочность, кг/окатыш
17	165
18	279
21	138
22	160

Прочность спеченных окатышей была хорошей во многих испытаниях, где технологические параметры имели требуемые значения. Прочность была хорошей как в случае мелких фракций пыли, так и в случае пыли с более крупнозернистой дробленой латеритовой рудой. Окатыши хорошего качества получали в центральной области шихты (по вертикали) по всему слою окатышей. Вблизи стенок окатыши не прореагировали в достаточной степени из-за того, что температура там примерно на 100°C ниже, чем в центральной области. Причиной этого был неравномерный радиальный температурный профиль в реакторе периодического действия. Однако в непрерывном процессе (например, таком как процесс Outotec спекания на стальном транспортере) температура в краевых областях очень близка к температурам в центральной зоне, и, таким образом, недостатки испытательного реактора не должны проявляться.

В некоторых испытаниях к исходной смеси добавляли также мелкие фракции кокса, что приводило к образованию металлического никеля. При этом полученные при восстановлении газы вырывались из окатышей и вызывали их дробление (фрагментацию). Также после проведения этих испытаний на поверхности окатышей были замечены расплавленные фазы. После того как были замечены эти явления, к исходной смеси больше не добавляли кокса.

Химические анализы двух выбранных видов шихты хорошо представляют качество спеченных окатышей. Эти величины представлены в табл. 10 в мас. %.

Следует отметить, что летучие компоненты (в данном случае гидроксиды) разложились и были удалены из окатышей (потери при прокаливании). В этих испытаниях железо было в значительной степени окислено, при этом около 90% железа находилось в форме трехвалентного железа.

Таблица 10

Химический анализ спеченных окатышей

Номер шихты	Ni, %	Fe, %	Al ₂ O ₃ , %	MgO, %	CaO, %	SiO ₂ , %
18	4,4	20,2	3,7	13,1	0,41	47,2
22	4,1	18,7	3,1	14,6	0,38	48,7

Пористая структура окатышей повышает способность никеля и железа к восстановлению по сравнению с первичной латеритовой рудой. Никель, по-видимому, находится в зернах феррита и в форстерите. Некоторые частицы феррита были обогащены никелем. Ферриты содержатся в местах, где в большом количестве находится хром.

Испытания на истирание окатышей, спеченных из пыли, привели к образованию значительного количества пыли с размерами менее 0,59 мм. Этот результат не был неожиданным из-за упомянутого ранее неоднородного температурного профиля в слое, и соответственно это не должно происходить в случае непрерывного процесса. Окатыши из центральной области слоя окатышей обладают хорошей стойкостью к истиранию, что соответствует ситуации в промышленном масштабе.

Некоторые физические величины (пористость и плотность) спеченных окатышей, определенные при испытаниях, представлены в табл. 11.

Таблица 11

Кажущаяся пористость и плотность спеченных окатышей

№ шихты	Кажущаяся пористость, %	Плотность, г/см ³
18	29	2,6
22	25	2,5

Величины кажущейся пористости были высокими, и это способствует высокой степени восстановления.

Испытания на частичное восстановление спеченных окатышей проводили в вертикальной трубчатой печи, где в качестве восстановителя использовали кокс и газообразный СО. Эта трубчатая печь моделировала вертикальный реактор частичного восстановления. Печь была снабжена решеткой, и газ протекал снизу вверх через слой окатышей. Внутри слоя были установлены три термоэлемента, на различных высотах от верхней части печи.

Печь нагревали в течение 2 ч до 800°C и выдерживали в течение 2 ч при этой температуре. Затем в печь направляли инертный газ и отключали нагревающий ток.

Спеченные окатыши были в высокой степени пористыми. Кажущаяся пористость окатышей составляла 25-30%, поэтому способность окатышей к восстановлению была хорошей.

В испытаниях по предварительному восстановлению, которые проводили при 800°C с применением газообразного СО и 5% кокса в смеси, степень металлизации никеля составляла более 60%, а степень

металлизации железа составляла более 40%.

Степень восстановления можно увеличить путем оптимизации условий. Структура предварительно восстановленного окатыша была достаточно плотной для последующей переработки, и степень разрушения была малой.

В испытании, которое проводили на оборудовании, изображенном на фигуре, время выдержки в зоне сушки (12 мин) было достаточно длительным, чтобы не наблюдалось какого-либо разрушения этих влажных окатышей. Время выдержки в зоне предварительного нагрева составляло 9-10,5 мин, а в зоне спекания 12-15 мин, и их также изменяли в соответствии с результатами испытаний и визуальными наблюдениями.

Было обнаружено, что температура подаваемого газа (максимум 420-440°C) является подходящей для сушки окатышей. Граничный слой между свежими окатышами и окатышами защитного слоя также сушили.

Максимальная температура подаваемого газа в зоне предварительного нагрева составляла 1130-1190°C, в зависимости от времени выдержки. В этом случае максимальная температура верхнего слоя находилась в диапазоне 1300-1370°C. Максимальная температура в средней части слоя составляла 1270-1370°C. Температура граничного слоя составляла 1270-1330°C.

Максимальная температура подаваемого газа в зоне спекания составляла 1200-1230°C. В этом случае максимальная температура верхнего слоя составляла 1370-1400°C. Максимальная температура средней части слоя составляла 1360-1380°C. Температура граничного слоя составляла 1360-1370°C.

В реальном непрерывном процессе можно использовать и другие величины (отличные от тех, которые использовали в испытаниях), которые были представлены в настоящем описании.

Для специалиста в данной области очевидно, что с развитием технологии основную идею представленного здесь способа можно реализовать различными путями. Таким образом, настоящий способ и его воплощения не ограничены описанными выше примерами; напротив, настоящий способ можно изменять в пределах объема формулы изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ утилизации пыли, образованной в процессе получения ферроникеля, включающий следующие стадии:

получение сырья для гранулирования из пыли, образованной в процессе получения ферроникеля, и тонкоизмельченной латеритовой руды с размером частиц менее 3 мм;
гранулирование указанного сырья с получением сырых окатышей и спекание сырых окатышей,
отличающийся тем, что

сырые окатыши спекают в печи для спекания со стальным транспортером для получения спеченных окатышей, причем печь для спекания со стальным транспортером включает одну или более зон для сушки, нагревания, спекания и охлаждения окатышей; и

спеченные окатыши подают во вращающуюся обжиговую печь для частичного восстановления никеля и железа или спеченные окатыши вместе с латеритовой рудой, частично восстановленной во вращающейся обжиговой печи, подают в плавильную печь для получения ферроникеля.

2. Способ по п.1, в котором размер частиц тонкоизмельченной латеритовой руды составляет менее 2 мм.

3. Способ по п.1 или 2, в котором в сырье для гранулирования вводят пыль из сухого циклонного очистителя и/или тонкий шлам из мокрого скруббера.

4. Способ по п.1 или 2, в котором количество тонкоизмельченной латеритовой руды составляет 0,1-50%, предпочтительно 1-45%, более предпочтительно 5-40% от массы сырья для гранулирования.

5. Способ по любому из пп.1-4, в котором в сырье для гранулирования дополнительно добавляют бентонит в количестве 0,1-2%, предпочтительно 0,5-1,2% от массы сырья для гранулирования.

6. Способ по любому из пп.1-4, в котором в сырье для гранулирования дополнительно добавляют бентонит в количестве 0,1-1,5%, предпочтительно 0,5-1,2% от массы сырья для гранулирования.

7. Способ по любому из пп.1-6, в котором в зону сушки подают сушильный газ, имеющий температуру 100-500°C, а время выдержки в зоне сушки составляет 10-15 мин.

8. Способ по любому из пп.1-6, в котором в зону сушки подают сушильный газ, имеющий температуру 250-420°C, а время выдержки в зоне сушки составляет 10-12 мин.

9. Способ по любому из пп.1-8, в котором в зону нагрева подают нагревающий газ, имеющий температуру 1000-1300°C, а время выдержки в зоне нагрева составляет 8-15 мин.

10. Способ по любому из пп.1-8, в котором в зону нагрева подают нагревающий газ, имеющий температуру 1100-1200°C, а время выдержки в зоне нагрева составляет 9-11 мин.

11. Способ по любому из пп.1-10, в котором в зону спекания подают спекающий газ, имеющий температуру 1150-1350°C, а время выдержки в зоне спекания составляет 10-16 мин.

12. Способ по любому из пп.1-10, в котором в зону спекания подают спекающий газ, имеющий

температуру 1200-1250°C, а время выдержки в зоне спекания составляет 10-16 мин.

13. Способ по любому из пп.1-12, в котором температура слоя спеченных окатышей в зоне спекания составляет 1300-1500°C.

14. Способ по любому из пп.1-12, в котором температура слоя спеченных окатышей в зоне спекания составляет 1360-1400°C.

