

РЭСПУБЛІКА БЕЛАРУСЬ



ПАТЭНТ

НА КАРЫСНУЮ МАДЭЛЬ

№ 12907

Индукционная печь для термообработки сыпучих материалов

выдадзены

Нацыянальным цэнтрам інтэлектуальнай уласнасці
ў адпаведнасці з Законам Рэспублікі Беларусь
«Аб патэнтах на вынаходствы, карысныя мадэлі, прамысловыя ўзоры»

Патэнтаўладальнік (патэнтаўладальнікі):

Открытое акционерное общество "БЕЛНИИЛИТ" (ВУ)

Аўтар (аўтары):

**Волков Десан Алексеевич; Волков Алексей Десанович; Ефименко
Андрей Васильевич (ВУ)**

Заяўка № **и 20210338**

Дата падачы: **30.12.2021**

Зарэгістравана ў Дзяржаўным рэестры
карысных мадэляў:

15.04.2022

Дата пачатку дзеяння:

30.12.2021

Генеральны дырэктар

У.А.Рабаволаў

ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 12907

(13) U

(46) 2022.06.30

(51) МПК

C 21D 1/10 (2006.01)

F 27B 7/18 (2006.01)

(54) ИНДУКЦИОННАЯ ПЕЧЬ ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

(21) Номер заявки: u 20210338

(22) 2021.12.30

(71) Заявитель: Открытое акционерное общество "БЕЛНИИЛИТ" (ВУ)

(72) Авторы: Волков Десан Алексеевич; Волков Алексей Десанович; Ефименко Андрей Васильевич (ВУ)

(73) Патентообладатель: Открытое акционерное общество "БЕЛНИИЛИТ" (ВУ)

(57)

Индукционная печь для термообработки сыпучих материалов, содержащая помещенный в теплоизолирующий кожух нагревательный элемент в виде многовиткового цилиндрического индуктора и установленный внутри него и соосно с ним барабан, соединенный через опорные ролики с приводом вращения и снабженный механизмами загрузки и выгрузки, отличающаяся тем, что внутренняя поверхность барабана снабжена спиральными ребрами с шагом от 50 до 250 мм и высотой H от 10 до 25 мм, а соседние витки этих ребер соединены захватывающими элементами высотой $(0,2-1,0) H$ с шагом от 10 мм.

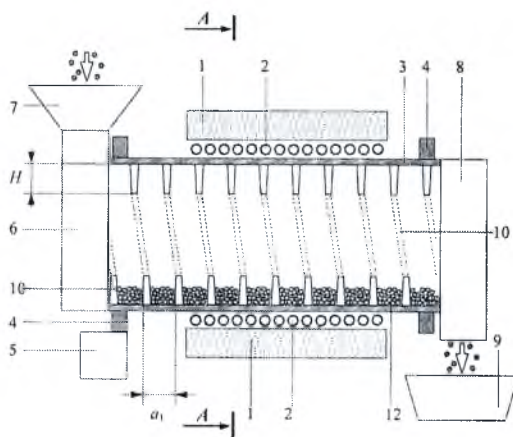
(56)

1. СВЕНЧАНСКИЙ А.Д. Электрические промышленные печи. Москва: Энергия, 1975.

2. SU 947600, 1982.

3. ВУ 788, 2003.

4. ГУРЧЕНКО П.С. и др. Производство стальной литой термообработанной дроби в условиях машиностроительных предприятий. Минск: Беларуская навука, 2014, с. 113 (с. 64-68).



Фиг. 1

ВУ 12907 U 2022.06.30

Заявляемая полезная модель относится к области металлургии и может быть использована для термообработки металлических порошков и дробы, используемых в дробеструйных и дробеметных аппаратах.

Наиболее эффективной очисткой металлических изделий непосредственно после процесса литья является дробеструйная и дробеметная обработка. В качестве расходного материала при этом преимущественно используется стальная или чугунная дробь, также получаемая методом литья. Такую дробь получают охлаждением капель расплава в воде, вследствие чего в ней присутствуют значительные внутренние напряжения, обусловленные высокими градиентами температуры в процессе охлаждения. Технологическая стойкость такой дробы относительно невысока, т.к. наличие высоких внутренних напряжений приводит к раскалыванию частиц при их соударении с обрабатываемым материалом. Для снятия этих напряжений и улучшения кристаллографической структуры дробы проводят ее термообработку, за счет чего достигают значительного повышения ее технологической стойкости и, соответственно, заметного улучшения экономических показателей.

Классическими устройствами для термообработки сыпучих материалов являются электрические печи [1]. Так, например, известна электрическая печь, состоящая из металлического барабана, установленного внутри теплоизолированной камеры с нагревательными элементами. Барабан соединен с приводом вращения, снабжен блоками загрузки и выгрузки, а также механизмом перемещения обрабатываемого сыпучего материала внутри барабана в виде шнека, соединенного с тем же приводом вращения, что и барабан [2]. Соотношение передаточных чисел вращения барабана и шнека не раскрывается. Жесткость описанной конструкции предполагает неизменность соотношения скоростей вращения шнека по отношению к барабану. Сыпучий материал загружают в предварительно нагретую до рабочей температуры печь, выдерживают заданное время и выгружают в приемный контейнер. Время выдержки, как следует из описания, регулируют скоростью вращения шнека.

Недостатком классических электрических печей является низкая скорость нагрева и высокая длительность, в результате чего в структуре дробы происходят нежелательные изменения, в том числе химические превращения, приводящие к потере ее эксплуатационных свойств. Нагрев материала в таких печах происходит преимущественно за счет теплообмена при контакте частиц с горячими стенками барабана. Для нагрева материала внутри сыпучей массы требуется ее интенсивное и длительное перемешивание.

Рассмотренные недостатки в основном устраняются при использовании устройств индуктивного нагрева. Они характеризуются высокой скоростью нагрева, но в то же время обладают другими специфическими недостатками.

Наиболее близким к заявляемому техническому решению, его прототипом является устройство для нагрева металлических сыпучих частиц, содержащее помещенный в теплоизолирующий кожух нагревательный элемент в виде многовиткового цилиндрического индуктора и установленный внутри него и соосно с ним гладкостенный барабан, соединенный через опорные ролики с приводом вращения и снабженный механизмами загрузки и выгрузки [3]. Как указано в описании, гладкостенный барабан для обеспечения перемещения сыпучего материала по его длине в течение цикла обработки установлен под углом от 1 до 10° в вертикальной плоскости, а для регулировки этого угла и облегчения выгрузки материала предусмотрен дополнительный механизм наклона всего устройства.

Недостатки прототипа связаны с особенностями перемещения обрабатываемого материала внутри гладкостенного барабана. Это обусловлено различием в форме частиц и их способностью перекаатываться по гладкой внутренней поверхности. Частицы, имеющие форму шара, перекаатываются из загрузочной области барабана к области выгрузки даже при малейшем его наклоне, т.е. менее 1°. Время их нахождения в зоне обработки, т.е. в зоне воздействия индуктора, определяется начальной скоростью, приобретенной в процессе загрузки, углом наклона барабана и при упомянутых 10° может составлять менее 1 с.

Очевидно, что даже при максимальной мощности индуктора и минимальном размере такой частицы она вряд ли может прогреться до сколько-нибудь ощутимой температуры. При этом уменьшение размеры частицы сопровождается повышением ее прозрачности в области излучения индуктора и уменьшением поглощенной энергии. А повышение размера частиц для достижения заданной температуры требует увеличения поглощенной энергии и увеличения времени нахождения в зоне обработки, в то время как скорость перекачивания таких частиц несколько выше из-за уменьшения влияния шероховатости их поверхности на процесс перемещения.

Частицы, имеющие вытянутую, иначе веретенообразную, форму, перекачиваются по внутренней поверхности барабана в зависимости от их положения в барабане. Если большая ось частицы перпендикулярна оси барабана, то скорость ее перекачивания аналогична скорости движения шаровидных частиц. А если большая ось частицы параллельна оси барабана, то ее перекачивание невозможно совсем. Движение такой частицы по внутренней поверхности барабана возможно только путем скольжения за счет преодоления сил трения либо перекачиванием с предварительным разворотом большей оси частицы перпендикулярно оси барабана. Наличие соседних контактирующих частиц зачастую препятствует развороту, поэтому часть частиц эллиптической формы быстро перекачивается из области загрузки в область выгрузки, а часть "застревает" среди других частиц.

Поскольку подавляющее количество частиц имеет неправильную форму, существенно отличающуюся от шаровидной, то это приводит к существенной разнице во времени их нахождения в зоне обработки, неоднородности температуры нагрева различных частиц и, соответственно, к невоспроизводимости их прочностных свойств, на обеспечение которых и была направлена термообработка. Максимальная технологическая стойкость дроби при такой термообработке не достигается. Увеличение угла наклона барабана при этом только повышает неоднородность обработки, т.к. способствует повышению скорости перекачивания одних частиц и "застреванию" в области обработки других. Перемещение частиц обрабатываемого материала внутри барабана, в том числе в области воздействия индуктора, является практически неконтролируемым, что и обуславливает рассмотренные недостатки.

Другим недостатком прототипа является сравнительно невысокий объем рабочей области. Часть энергии индуктора излучается в окружающее пространство непродуктивно, т.к. не используется для нагрева материала. Это обусловлено тем, что весь обрабатываемый сыпучий материал локализуется вблизи нижней поверхности барабана, хотя и с некоторым смещением в направлении его вращения. Величина проникновения высокочастотного (ВЧ) излучения, используемого при индуктивном нагреве, в обрабатываемый материал определяется глубиной скин-слоя, которая для сплавов железа в традиционно используемых режимах обработки составляет около 10 мм. Фигуру, образованную сыпучим материалом в барабане с гладкой поверхностью, можно рассматривать как усеченный цилиндр с сегментами в основании. Вращение барабана приводит к перекачиванию частиц материала из областей вблизи поверхности барабана в центральную часть объема материала, отстоящую от поверхности барабана на высоту "сегмента". Если эта высота больше глубины скин-слоя, то нагрев частиц за счет СВЧ-излучения не происходит. В то же время увеличение загрузки барабана для обеспечения приемлемой производительности устройства приводит к увеличению этой высоты. Площадь контакта обрабатываемого материала с барабаном и, соответственно, площадь взаимодействия с индуктором возрастает, что приводит к повышению производительности. С другой стороны, при этом увеличивается объем материала, не подвергаемый воздействию излучения. Это ограничивает производительность устройства из-за ограничения высоты загрузки материала. Увеличение размеров устройства при этом не приводит к пропорциональному увеличению производительности, т.к. глубина скин-слоя при этом не меняется.

ВУ 12907 U 2022.06.30

Таким образом, прототип характеризуется сравнительно невысокой производительностью наряду с высокой неоднородностью обработки сыпучих материалов.

Задачей заявляемой полезной модели является повышение производительности и однородности обработки сыпучих материалов.

Поставленная задача решается тем, что в индукционной печи для термообработки сыпучих материалов, содержащей помещенный в теплоизолирующий кожух нагревательный элемент в виде многовиткового цилиндрического индуктора и установленный внутри него и соосно с ним барабан, соединенный через опорные ролики с приводом вращения и снабженный механизмами загрузки и выгрузки, внутренняя поверхность барабана снабжена спиральными ребрами с шагом от 50 до 250 мм и высотой H от 10 до 25 мм, а соседние витки этих ребер соединены захватывающими элементами высотой $(0,2-1,0) H$ с шагом от 10 мм.

Сущность заявляемого технического решения заключается в принудительном контролируемом перемещении обрабатываемого материала как по длине, так и по окружности барабана.

Наличие спиральных ребер на внутренней поверхности барабана препятствует самопроизвольному перекачиванию частиц обрабатываемого материала по длине барабана. Вращение барабана приводит к постепенному перекачиванию всей массы частиц по виткам спирали от области загрузки к области выгрузки. Нахождение частиц в рабочей зоне барабана строго регламентировано частотой вращения барабана и шагом витков спиральных ребер. Если за 1 мин барабан совершает 10 оборотов, количество спиральных ребер n равно 1, а шаг витков составляет 100 мм, то за это время обрабатываемая масса перемещается в барабане ровно на 1000 мм. На практике значение n выбирают чаще 1 или 2, большие значения, например 3, также возможны, но это заметно усложняет конструкцию барабана и может использоваться лишь в специальных случаях.

Шаг спиральных ребер в интервале от 50 до 250 мм выбран на основе экспериментальных данных с учетом особенностей фактически обрабатываемых материалов. При шаге менее 50 мм, например 30 мм, для обеспечения требуемого времени обработки приходится использовать сравнительно высокие скорости вращения барабана, что приводит к возникновению неконтролируемого перемещения материала внутри барабана. Наличие центробежных сил приводит к "залипанию" частиц на стенках барабана и их перегреву. При шаге более 250 мм, например 300 мм, для обеспечения требуемого времени обработки приходится использовать слишком низкие скорости вращения барабана. Перемешивание частиц обрабатываемого материала при этом оказывается недостаточным, однородность обработки заметно снижается.

Заявляемая высота спиральных ребер H обусловлена как глубиной скин-слоя при традиционно используемых режимах обработки, так и фактически используемыми параметрами загрузки барабана. Высоту менее 10 мм использовать нецелесообразно в связи с тем, что это меньше глубины скин-слоя. Насыпная высота обрабатываемого материала в этом случае будет превышать высоту этих ребер, и частицы обрабатываемого материала приобретут возможность относительно бесконтрольного перемещения по длине барабана, что приведет к неравномерности их обработки. Высота спиральных ребер более 25 мм также нецелесообразна в связи с повышением сложности изготовления такого барабана без появления дополнительных преимуществ.

Наличие захватывающих элементов, соединяющих ближайшие витки спиральных ребер, позволяет за счет вращения барабана увеличить площадь взаимодействия индуктора с обрабатываемым материалом. Поскольку глубина скин-слоя при этом остается на прежнем уровне, то это обеспечивает одновременный нагрев большего количества материала. Производительность устройства заметно возрастает. Захватывающие элементы в зависимости от конкретного назначения устройства могут быть выполнены в виде плоских пластин, расположенных радиально либо наклоненных под некоторым углом в сторону

ВУ 12907 U 2022.06.30

вращения барабана. Другим вариантом формы захватывающих элементов могут быть изогнутые в направлении вращения барабана пластины. Захватывающие элементы за счет вращения барабана захватывают материал в нижней его части, поднимают вверх и по мере дальнейшего вращения за счет изменения угла наклона к горизонтали разгружаются с перемещением материала в нижнюю часть барабана. Далее цикл повторяется.

Высота захватывающих элементов выбирается с учетом дальнейшего конкретного использования и может составлять $(0,2-1,0) H$. Если высота захватывающих элементов превышает величину H , то по мере вращения барабана частицы обрабатываемого материала приобретают возможность неконтролируемого перемещения между соседними витками спиральных ребер, что ухудшает равномерность их обработки. Высота захватывающих элементов менее $0,2 H$ не обеспечивает приемлемый уровень увеличения производительности устройства.

Количество захватывающих элементов выбирается также с учетом дальнейшего фактического использования. В любом случае положительный эффект начинает проявляться при наличии хотя бы одного такого элемента. Увеличение их количества приводит к увеличению площади взаимодействия индуктора с обрабатываемым материалом и повышению производительности. Максимальное количество таких элементов ограничено минимальным шагом между ними, который не может быть менее 10 мм. При меньших значениях шага частицы обрабатываемого материала застревают между ними и перегреваются. Однородность свойств обработанного материала ухудшается.

Таким образом, совокупность расположенных на внутренней поверхности барабана спиральных ребер с соединяющими их захватывающими элементами обеспечивает контролируемое перемещение обрабатываемого материала по длине барабана и одновременное повышение производительности обработки при высокой однородности свойств конечного продукта.

Заявляемое техническое решение поясняется фигурами: фиг. 1, где приведено общее схематическое изображение индукционной печи, и фиг. 2, где приведен ее вид с торца барабана (вид А-А с фиг. 1). На фигурах приняты следующие обозначения:

- 1 - теплоизолирующий кожух;
- 2 - индуктор;
- 3 - барабан;
- 4 - опорные ролики;
- 5 - привод вращения;
- 6 - механизм загрузки;
- 7 - загрузочный бункер;
- 8 - механизм выгрузки;
- 9 - приемный контейнер;
- 10 - спиральные ребра;
- 11 - захватывающие элементы;
- 12 - обрабатываемый материал;
- H - высота;
- a_1 - шаг;
- h - размер в высоту;
- a_2 - расстояние;
- L - область воздействия индуктора.

Как видно из приведенных фигур, заявляемая индукционная печь для термообработки сыпучих материалов состоит из теплоизолирующего кожуха 1 (на фиг. 2 не показан во избежание загромождения фигуры), внутри которого установлен нагревательный элемент в виде многовиткового цилиндрического индуктора 2 (часть витка индуктора на фиг. 2 затенена для отображения ее смещения за плоскость фигуры). Выводы индуктора 2 присоединены к ВЧ-источнику электропитания и системе охлаждения (на фигурах не показаны).

ВУ 12907 U 2022.06.30

Барабан 3 расположен внутри индуктора 2, установлен на опорных роликах 4 и соединен с приводом вращения 5. С фронтальной стороны барабана 3 расположен механизм загрузки 6 с загрузочным бункером 7. С тыльной стороны барабана 3 расположен механизм выгрузки 8 с приемным контейнером 9. На внутренней поверхности барабана 3 выполнены спиральные ребра 10 высотой H с шагом a_1 (часть витка спирального ребра на фиг. 2 затенена для отображения его смещения за плоскость фигуры). Ближайшие витки спиральных ребер 10 соединены между собой захватывающими элементами 11 (на фиг. 1 не показаны во избежание его загромождения) с размером в высоту h , расположенные на расстоянии a_2 между ними. Захватывающие элементы 11 могут быть выполнены как в форме пластин (фиг. 2), так и иной формы. Обрабатываемый материал 12 располагается в барабане 3 и контактирует со спиральными ребрами 10 и захватывающими элементами 11. В области воздействия индуктора L расстояние между обрабатываемым материалом 12 и индуктором 2 минимально, поэтому в ней происходит максимальный нагрев материала.

Заявляемая индукционная печь для термообработки сыпучих материалов работает следующим образом. Включается система охлаждения, ВЧ-источник электропитания и привод вращения 5. Вокруг индуктора 2 при этом формируется ВЧ-поле. Барабан 3, установленный на опорных роликах 4, начинает вращаться. Обрабатываемый материал 12 через загрузочный бункер 7 при помощи механизма загрузки 6 подается в барабан 3. За счет вращения при воздействии захватывающих элементов 11 обрабатываемый материал 12 распределяется по внутренней поверхности барабана 3 между спиральными ребрами 10. По мере вращения барабана 3 обрабатываемый материал 12 перемещается в центральную часть барабана 3, где подвергается воздействию ВЧ-поля индуктора 2 и нагревается на глубину скин-слоя. Загрузку барабана 3 при помощи механизма загрузки 6 регулируют так, чтобы насыпная высота обрабатываемого материала в барабане была соизмерима с глубиной скин-слоя. Наличие спиральных ребер 10 при этом обеспечивает своевременную подачу и равномерное распределение обрабатываемого материала 12 по длине барабана 3. Наличие захватывающих элементов 11 обеспечивает подъем обрабатываемого материала 12 по внутренней поверхности барабана 3, за счет чего область воздействия индуктора L на обрабатываемый материал 12 существенно возрастает. Количество одновременно нагреваемого материала при этом возрастает пропорционально увеличению области воздействия индуктора L . Это обеспечивает рост производительности устройства как за счет увеличения скорости нагрева, так и за счет увеличения загрузки барабана 3. Наличие спиральных ребер 10 препятствует неконтрольному перемещению обрабатываемого материала 12 по длине барабана 3. Все частицы материала подвергаются максимально одинаковому нагреву в течение одинакового времени, что предопределяет дальнейшую однородность их свойств. В частности, технологическая стойкость обработанной в заявляемом устройстве металлической дроби в дробеструйных аппаратах существенно возрастает. При дальнейшем движении обрабатываемого материала 12 по длине барабана 3 он поступает в механизм выгрузки 8 и далее в приемный контейнер 9.

Таким образом, обработка всей массы материала проводится в заявляемом устройстве непрерывно-последовательно с обеспечением равных условий обработки для любой произвольно выбранной порции материала.

Заявляемая индукционная печь была изготовлена на базе лабораторной индукционной установки для термической обработки дроби [4] путем модернизации барабана на опытно-производственном участке заявителя. Электромагнитное поле в индукторе возбуждалось токами ВЧ при использовании машинного преобразователя частоты ВПЧ-100/8000 мощностью 100 кВт и частотой 8 кГц. Длина индуктора составила 1200 мм, частота вращения барабана выбиралась с учетом шага спиральных ребер для обеспечения времени обработки от 5 до 15 мин, количество спиральных ребер $n = 1$. Конструктивные особенности устройства приведены в таблице. Устройство испытывали при обработке стальной дроби фракций от 0,3 до 4,5 мм, полученной методом литья из стали марки 40Л. Качество обра-

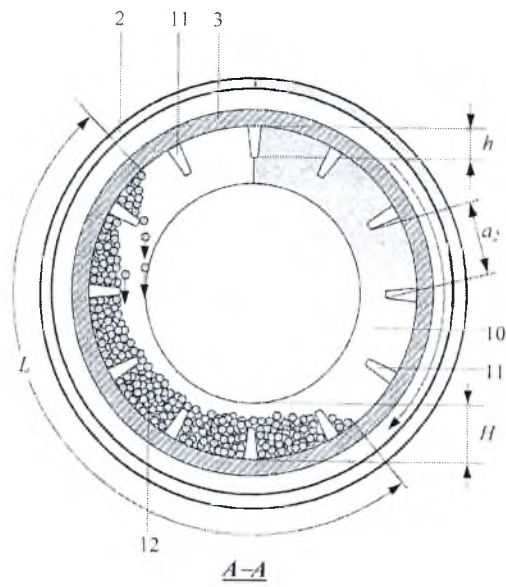
ВУ 12907 U 2022.06.30

ботки оценивали по стойкости дробы при очистке отливок в дробеметных камерах литейных цехов, а также по измеренным значениям разброса микротвердости. Разброс значений микротвердости при использовании заявляемого устройства составил от 450 до 530 HV, а для прототипа - от 380 до 620 HV. Результаты испытаний приведены в таблице. Измеренная производительность заявляемого устройства для всех режимов работы составила величину на 30-50 % выше, чем у прототипа.

Влияние конструктивных особенностей устройства на характеристики обработанной дробы

№ опыта	Шаг a_1 спиральных ребер, мм	Высота спиральных ребер H , мм	Размер в высоту h захватывающих элементов, мм	Расстояние a_2 между захватывающими элементами (шаг), мм	Стойкость обработанной дробы, циклов	Микротвердость, относительные единицы HV	Примечание
1	30	10	10	50	450	420-500	Застревание частиц дробы в барабане
2	50	10	10	50	500	450-530	
3	100	10	10	50	500	450-530	
4	250	10	10	50	500	450-530	
5	350	10	10	50		450-500	Технологически неприемлемое время обработки
6	100	5	10	50	430	400-600	Неравномерность обработки
7	100	10	10	50	500	450-500	
8	100	25	10	50	500	450-500	
9	100	35	10	50	500	450-500	Высокая стоимость барабана без дополнительных преимуществ
10	100	25	3 (0,08H)	50	450	450-600	Недостаточная равномерность обработки
11	100	25	5 (0,2H)	50	500	450-530	
12	100	25	10 (0,4H)	50	500	450-530	
13	100	10	10 (1,0H)	50	500	450-530	
14	100	10	15 (1,5H)	50	430	450-600	Недостаточная равномерность обработки
15	100	10	10	5	420	350-500	Застревание частиц дробы в барабане
16	100	10	10	10	500	450-500	
17	100	10	10	50	500	450-500	
18	Прототип				400	380-620	Неравномерность обработки

Из таблицы видно, что заявляемое техническое решение в совокупности своих отличительных признаков обеспечивает повышение стойкости обработанной дробы по отношению к прототипу на 25 %. Это достигается повышением однородности обработки материала, а повышение производительности достигается увеличением загрузки, обеспечиваемой увеличением области воздействия ВЧ-поля на материал.



Фиг. 2