

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **045176**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.10.31

(21) Номер заявки
201892335

(22) Дата подачи заявки
2017.05.24

(51) Int. Cl. **C22B 34/12** (2006.01)
B33Y 10/00 (2015.01)
B33Y 30/00 (2015.01)
B33Y 50/02 (2015.01)

(54) **УСТРОЙСТВО И СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА**

(31) **1609141.5**

(32) **2016.05.24**

(33) **GB**

(43) **2019.06.28**

(86) **PCT/GB2017/051454**

(87) **WO 2017/203245 2017.11.30**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ПАУЭР РИСОРСЕС ГРУП ЛТД (GB)

(72) Изобретатель:
Вон Дион, Конти Мельхиор (GB)

(74) Представитель:
Нилова М.И. (RU)

(56) US-A1-2014186205
US-A1-2013065073
CN-U-204934612
SEYDA, V. ET AL.: "Investigation of aging
processes of Ti-6Al-4V powder material in laser
melting", PHYSICS PROCEDIA, vol. 39, 2012, pages
425-431, XP002772187, page 426 - page 428
WO-A2-2013050772

(57) Способ и устройство для производства металлического изделия включают предоставление неметаллического исходного материала, например, в форме оксида требуемого металла или смеси оксидов компонентов требуемого металлического сплава. Производственное устройство содержит восстановительное устройство для электрохимического восстановления исходного материала до металлического продукта и обрабатывающий блок для преобразования металлического продукта в металлический порошок. Порошок подают в устройство аддитивного производства для изготовления металлического изделия из металлического порошка. По меньшей мере, восстановительное устройство и обрабатывающий блок, а предпочтительно также и устройство аддитивного производства размещены или расположены в одном контейнере, или в том же строении, или на одном и том же участке.

B1

045176

045176
B1

Область техники

Настоящее изобретение относится к устройству и способу для производства металлического изделия и к металлическому изделию, а конкретно - к устройству, способу и изделию, связанным с аддитивным производством.

Предшествующий уровень техники

Титан обычно производится в промышленности с применением процессов Кролля и Хантера. Эти процессы осуществляются в очень крупном масштабе, являются энергоемкими и включают использование загрязняющих веществ, таких как хлор. Продукт обоих процессов представляет собой твердую массу из титановой губки, и для изготовления изделий из титана или титанового сплава из этой губки требуются существенные дополнительные расходы и энергозатраты с применением процессов консолидации, переплавки и механической обработки.

Полезно рассмотреть отношение массы титановой губки, которая должна быть произведена с применением процесса Кролля или Хантера, к массе титана, которая используется в готовом продукте, изготовленном из этой губки. (Компоненты из титана или титанового сплава часто назначают для использования в самолетах благодаря высокой прочности и низкой плотности титана, поэтому специалисты в данной области иногда называют упомянутое выше отношение, как "коэффициент использования материала".) Это отношение обычно составляет от 3:1 до 10:1. Неиспользуемый материал обычно теряется во время механической обработки и имеет нежелательно высокое содержание кислорода, так что он не может быть легко утилизирован. Высокий "коэффициент использования материала" является важным показателем высокой стоимости традиционных изделий, произведенных из титана, а также нежелательно высокой вложенной энергии в эти изделия.

Хотя эти соображения описаны здесь по отношению к титану и титановым сплавам, аналогичные проблемы возникают при изготовлении изделий из других металлов.

Следовательно, существует техническая и коммерческая необходимость в другом подходе к изготовлению металлических изделий, таких как изделия из титана и титановых сплавов.

Сущность изобретения

Настоящее изобретение предоставляет устройство, способ, продукт, а также способ и систему управления, как определено в независимых пунктах прилагаемой формулы изобретения, на которую теперь следует сделать ссылку. Предпочтительные и преимущественные отличительные признаки изобретения изложены в зависимых пунктах формулы изобретения.

В первом аспекте настоящее изобретение может предоставить производственное устройство для производства металлического изделия, содержащее восстановительное устройство для электрохимического восстановления исходного материала до металлического продукта, обрабатывающий блок для преобразования металлического продукта в металлический порошок и устройство аддитивного производства для изготовления металлического изделия из металлического порошка. Предпочтительно восстановительное устройство, обрабатывающий блок и устройство аддитивного производства располагаются рядом или на одном и том же участке и могут быть расставлены и управляться соответствующим образом запрограммированным контроллером для получения синергетического эффекта. Например, восстановительное устройство может управляться так, чтобы получить требуемый металлический продукт для обработки обрабатывающим блоком с формированием требуемого металлического порошка. Затем порошок подают в устройство аддитивного производства для изготовления требуемого изделия. Таким образом, можно так управлять восстановительным устройством и обрабатывающим блоком, чтобы получить требуемый металлический порошок только тогда, когда или незадолго до того, как этот порошок потребуются для использования в устройстве аддитивного производства, сокращая отходы и уменьшая необходимость хранения или накапливания порошка, который пока не требуется для аддитивного производства.

В противоположность этому, традиционные процессы аддитивного производства требуют хранения или транспортировки металлического порошка. Исключение этих требований особенно важно для определенных металлических материалов, таких как титан и титановые сплавы, где необходимо тщательно контролировать условия хранения и транспортировки, чтобы предотвратить деградацию порошка и избежать рисков для безопасности, таких как возможность воспламенения.

В настоящем документе ссылки на титановые сплавы могут относиться к сплавам на основе титана, содержащим более чем 50 мас.% титана.

Для удобства монтажа и эксплуатации восстановительное устройство, обрабатывающий блок и устройство аддитивного производства могут быть размещены в контейнере или в передвижном здании. Этот контейнер или здание могут быть передвижными, чтобы обеспечить возможность централизованного производства и сборки производственного устройства, например на заводе, перед транспортировкой этого устройства как единого целого на участок производства металлических изделий. Устройство можно транспортировать любым удобным способом, например любым способом контейнерных перевозок.

Такое устройство можно транспортировать, например, на строительную площадку здания, или на сезонное промышленное предприятие, или в зону бедствия, где может быть желательно производить металлические изделия. Аддитивное производство в таких условиях дает большую свободу изготовления изделий различной формы, а устройство позволяет использовать различные исходные материалы, так что

металлические изделия могут быть при необходимости изготовлены из различных металлов или сплавов.

Предпочтительно эти смежные устройства могут быть реализованы в недоступных в другом отношении местах, например, на корабле, где может быть желательно производить металлические изделия. Еще одним преимуществом такого расположения является то, что необходимо хранить только неметаллический исходный материал для производственного процесса, а не металлический порошок для аддитивного производства, который может быть горючим или со временем деградировать из-за окисления.

Преимущественно восстановительное устройство содержит электрохимическую ячейку, в которой в процессе эксплуатации анод и катод контактируют с расплавленной солью, а исходный материал контактирует с катодом и расплавленной солью. Источник электропитания прикладывает катодный потенциал к катоду, так что исходный материал восстанавливается до металлического продукта. В связи с этим можно использовать процесс электровосстановления или электролиза, описанный, например, в заявке WO 99/64638. Исходный материал преимущественно находится в форме порошка и преимущественно восстанавливается в металлический продукт в форме металлических частиц, соответствующих частицам порошка исходного материала. (Металлические частицы в этом продукте могут быть частично спечены в процессе восстановления и преимущественно могут быть отделены с помощью процесса дробления или измельчения.)

Кроме того, восстановительное устройство может содержать загрузочный блок для подачи исходного материала на катод и нагреватель для предварительного нагрева исходного материала и катода с целью погружения в расплавленную соль, чтобы избежать теплового удара или нежелательного охлаждения расплавленной соли при погружении катода. Катод может иметь форму лотка, содержащего плоское основание и выступающий периферийный фланец по кромке для удержания слоя исходного материала в виде порошка. После восстановления катод, несущий металлический продукт, предпочтительно извлекается из электрохимической ячейки и может быть перемещен в охлаждающий блок для охлаждения катода и металлического продукта перед обработкой продукта в обрабатывающем блоке.

В предпочтительном варианте осуществления катод, несущий исходный материал, установлен с возможностью перемещения в горизонтальном направлении внутри или из загрузочного блока до положения под анодом, после чего анод и катод можно опустить вертикально в расплавленную соль. После восстановления исходного материала до металлического продукта анод и катод, несущий металлический продукт, могут быть подняты вертикально из расплавленной соли перед тем, как катод, несущий металлический продукт, перемещается по горизонтали в охлаждающий блок. Горизонтальное движение катода и исходного материала, а также катода и металлического продукта после восстановления выбрано для того, чтобы повысить автоматизацию процесса восстановления и обеспечить удобное расположение загрузочного блока и охлаждающего блока рядом с электрохимической ячейкой с целью уменьшения объема устройства и места, необходимого для его размещения. Таким образом, горизонтальные и вертикальные перемещения катода и вертикальное движение анода могут контролироваться и выполняться автоматизированным оборудованием.

После электровосстановления металлический продукт обрабатывается в обрабатывающем блоке, где продукт сначала преимущественно промывают для удаления любой соли, остающейся на продукте после охлаждения. Обрабатывающий блок может дополнительно содержать измельчитель или дробилку, предназначенные для измельчения или дробления металлического продукта с получением металлических частиц из этого продукта. Не все эти частицы могут иметь одинаковую форму или размер, но может оказаться возможным использовать эти металлические частицы в качестве металлического порошка для аддитивного производства после процесса измельчения, без дополнительных стадий обработки, если свойства частиц подходят для применения в процессе аддитивного производства. Например, процесс аддитивного производства, такой как плазменное напыление, может быть относительно терпимым к размеру и форме частиц, и поэтому измельченные частицы могут быть подходящими для этого.

Другие процессы аддитивного производства могут потребовать дополнительной обработки частиц, прежде чем их можно будет использовать, и в этом случае обрабатывающий блок может содержать классификатор или сито для отделения металлических частиц заданного диапазона размеров, предназначенных для образования металлического порошка. Обрабатывающий блок может дополнительно содержать сфероидизирующее устройство для сфероидизации классифицированных металлических частиц для получения металлического порошка.

В зависимости от исходного материала, используемого для электролитического восстановления, эти металлические частицы могут включать частицы примесей, которые должны быть удалены перед процессом аддитивного производства. Если в процессе аддитивного производства используется, например, титановый порошок, то титановый исходный материал может содержать примеси, такие как железо, которое обычно встречается в комбинации с титановыми рудами. В этом случае обрабатывающий блок может содержать устройство для удаления нежелательных частиц, таких как частицы примесей. Этот блок может содержать, например, магнитный сепаратор для отделения ферромагнитных частиц от неферромагнитных частиц в металлических частицах или флотатор для удаления частиц низкой или высокой плотности.

Исходный материал преимущественно находится в форме порошка металлического соединения или

смеси металлических соединений, содержащих металлические элементы, необходимые для требуемого металлического порошка. Исходный материал может иметь размер частиц или распределение частиц по размерам, который при восстановлении образует металлический порошок с подходящим размером частиц или подходящим распределением частиц по размерам.

В предпочтительном варианте осуществления устройство аддитивного производства может содержать такое устройство, как 3D-принтер, блок селективной лазерной плавки, блок селективного лазерного спекания, блок селективной электронно-лучевой плавки или другое устройство для производства требуемого металлического изделия из металлического порошка. Другой опцией может быть устройство для напыления покрытия, такое как устройство для плазменного напыления покрытия.

В устройствах аддитивного производства различных типов значительная доля металлического порошка, подаваемого в это устройство аддитивного производства, не образует часть металлического продукта, а окисляется в процессе аддитивного производства с образованием окисленного металлического порошка. Например, в устройстве для 3D-печати, таком как устройство для селективной лазерной плавки, последовательные слои металлического порошка осаждают на плите устройства и каждый слой сканируют лазером для локального расплавления порошка и формирования требуемого изделия.

Порошок, который не расплавляют для формирования части изделия, может быть удален из слоя и в некоторых случаях может быть повторно использован для аддитивного производства других изделий, но во многих случаях его нельзя использовать повторно, поскольку этот порошок, расположенный вблизи сканирующего лазерного или электронного луча, нагревается во время аддитивного производства и может деградировать под действием нагрева, даже если процесс селективной плавки проводят в среде инертного газа. Например, если порошок представляет собой порошок титана, нагрев приводит к растворению поверхностного слоя оксида в объеме частиц, которые были нагреты. При охлаждении кислород остается в объеме частицы, а когда частица подвергается воздействию воздуха, образуется новый поверхностный оксидный слой. Таким образом, содержание кислорода в частице возрастает, так что процесс аддитивного производства приводит к образованию окисленных металлических частиц (несмотря на то, что этот процесс проводят в инертной атмосфере).

В соответствии с другим аспектом настоящего изобретения эту проблему можно решить путем повторной обработки окисленного металлического порошка в электролитической ячейке. Другими словами, окисленный металлический порошок, образовавшийся в процессе аддитивного производства, может быть использован в качестве исходного материала или в качестве компонента исходного материала для восстановительного устройства. Этот окисленный металлический порошок может быть эффективно обработан таким методом с целью снижения содержания кислорода и оптимизации его для последующего использования в устройстве аддитивного производства.

Окисленный металлический порошок может быть загружен в таком виде на катод для электролитического восстановления или может быть смешан со свежим исходным материалом в форме соединения металла или руды для получения требуемого металлического порошка. Решение о том, какой вариант выбрать, зависит от требуемого состава металлического порошка и количества доступного окисленного металлического порошка и доступного свежего исходного материала. Может быть выгодным смешать часть окисленного металлического порошка с частью свежего исходного материала на катоде, чтобы ускорить электровосстановление этого свежего материала за счет повышения электропроводности массы исходного материала на катоде, благодаря металлической сущности окисленного металлического порошка, смешанного с порошком непроводящего соединения металла.

Значительное преимущество предпочтительных вариантов осуществления настоящего изобретения заключается в адаптивности устройства для получения металлических изделий из различных металлических композиций в широком диапазоне, включая высокоэффективные металлические композиции для технически передовых применений, например для медицинской аппаратуры или для медицинских имплантатов, или для аэрокосмических применений. Весьма важен контроль качества металлического порошка, используемого для аддитивного производства таких изделий, а также контроль состава используемого сплава. Если необходимо, чтобы устройство аддитивного производства имело возможность изготавливать изделия для различных применений, в устройство аддитивного производства необходимо подавать высококачественные металлические порошки с определенным составом сплава, требуемым для каждого применения. Для обеспечения такой адаптивности и высокого качества оператору устройства аддитивного производства обычно приходится поддерживать запасы всех сплавов, которые могут понадобиться, и хранить эти запасы в соответствующим образом контролируемых условиях, однако за счет размещения на одном участке устройства электролитического восстановления и устройства аддитивного производства оператор может легко произвести на месте требуемый металлический порошок, решая проблему известного уровня техники и предлагая адаптивную и высококачественную производственную систему.

Для достижения этих целей желательно, чтобы был выбран и предоставлен подходящий исходный материал, содержащий одно или более соединений, включающее элементы, соответствующие элементам, образующим требуемый металлический продукт. Также желательно, чтобы этапы восстановления и обработки выполнялись надлежащим образом для восстановления этого исходного материала до требуемо-

го металлического продукта и чтобы управление обрабатывающим блоком соответствовало получению требуемого металлического порошка. Для достижения этой цели в предпочтительном аспекте изобретения этот блок управляется соответствующим образом запрограммированным контроллером, и, при необходимости, этот контроллер находится на связи с удаленным сервером, который может обеспечивать управление со стороны экспертной системы. Например, оператор системы может предоставить или установить устройство, воплощающее изобретение, для восстановления исходного материала и получения металлических изделий посредством аддитивного производства. Когда соответствующий металлический сплав потребуется для изготовления металлического изделия, оператор системы может предоставить или задать подходящий исходный материал для электрохимической ячейки и может предоставить параметры управления, например, от удаленного сервера к локально расположенному контроллеру, чтобы управлять устройством для получения требуемого металлического порошка и даже для изготовления требуемого металлического изделия.

Таким образом, получение металлического изделия может быть максимально автоматизировано за счет применения экспертной системы, управляемой удаленным сервером (или системным контроллером) в сочетании с локальным контроллером данного устройства.

В предпочтительном варианте осуществления системный оператор может предоставлять исходный материал в предварительно подготовленном количестве для электролитического восстановления. В сочетании с управлением со стороны экспертной системы, обеспечиваемым удаленным сервером, это может преимущественно гарантировать высокую производительность устройства и высококачественный продукт, независимо от требований к различным сплавам для изготовления различных металлических изделий в разное время.

Экспертная система или удаленный сервер могут также преимущественно получать обратную связь от данного устройства, чтобы обеспечить управление во время работы этого устройства. Обратная связь также может быть использована, если это устройство применяется для восстановления исходного материала, который был подготовлен на месте, такого как материал, содержащий смесь металлического соединения с окисленным металлическим порошком, образовавшимся в процессе аддитивного производства, как описано выше.

Параметры исходного материала преимущественно могут быть выбраны для того, чтобы получить не только продукт, имеющий требуемый состав, но также и другие желательные свойства, такие как размер частиц. Так, например, исходный материал может содержать частицы в пределах определенного диапазона размеров, относительно которого известно, что он восстанавливается до металлических частиц, имеющих требуемый, меньший диапазон размеров частиц. Это может минимизировать потери металлического материала в обрабатывающем блоке.

Следует отметить, что один удаленный сервер может быть связан с и может управлять несколькими производственными устройствами по настоящему изобретению, которые могут находиться в разных местах.

При необходимости системный оператор может обновлять управление, осуществляемое удаленным сервером так, чтобы постоянно обеспечивать эффективное управление всеми производственными устройствами, к которым он подключен.

Чтобы поддерживать требуемую адаптивность производства, электрохимическая ячейка и обрабатывающий блок преимущественно настроены так, чтобы иметь возможность получать такое количество металлического порошка, которое соответствует потреблению устройством аддитивного производства, с которым они соединены. Так, например, данное устройство может быть способно получать от 6 до 12 кг металлического порошка в сутки. Следовательно, общий размер устройства может быть значительно меньше, чем у обычных машин для получения металлических изделий. Например, применительно к титану устройство может быть значительно меньше реактора Кролля.

Таким образом, варианты осуществления настоящего изобретения могут обеспечить многочисленные преимущества. Например, это может относиться к сравнительно неэффективным способам, с помощью которых в настоящее время получают такие материалы, как порошок титана. Другими соображениями являются последствия для здоровья и безопасности, вызванные хранением большого количества титановых порошков, хорошо известных своей воспламеняемостью; воспламеняемость также зависит от размера порошка: чем мельче порошок, тем он более огнеопасен. Благодаря уменьшению или устранению необходимости хранить или транспортировать металлический порошок настоящее изобретение может решить эти проблемы. Вместо того, чтобы покупать и хранить большие количества дорогостоящих и опасных порошков, настоящее изобретение может преимущественно предоставить комплексную машину, которая может обрабатывать оксидную шихту в металлический порошок, который будет утилизирован во взаимодействии с 3D-принтером. Это устройство также может синергетически обеспечить регенерацию порошков, не соответствующих техническим характеристикам в отношении содержания кислорода из-за термоциклирования в 3D-принтере, как описано выше. Обычно регенерации окисленного порошка необходимо, чтобы отработанный порошок был возвращен производителю порошка для восстановления за пределами технологической площадки, а затем возвращен владельцу 3D-принтера. Настоящее изобретение может преимущественно предоставить производственный блок, занимающий не-

большую площадь, с расположенным рядом модулем последующей обработки, который может очищать, сушить и упаковывать порошок для использования в 3D-принтере, а также перерабатывать порошки, окисленные в 3D-принтере, и все это возможно в одной машине на одном участке.

Настоящее изобретение также может предоставить способ производства металлического изделия с помощью устройства, описанного в настоящем документе, и металлическое изделие, произведенное с применением этого способа или этого устройства.

Таким образом, в итоге, настоящее изобретение может преимущественно предоставить устройство и способ, как изложено в следующих пронумерованных пунктах, которые представляют преимущественные отличительные признаки этого устройства и этого способа.

1. Устройство для производства металлического изделия, содержащее:
восстановительное устройство для электрохимического восстановления исходного материала до металлического продукта;
обрабатывающий блок для преобразования металлического продукта в металлический порошок и устройство аддитивного производства для изготовления металлического изделия из металлического порошка.
2. Восстанавливающее устройство по п.1, в котором, восстановительное устройство, обрабатывающий блок и устройство аддитивного производства расположены рядом или на одном участке.
3. Устройство аддитивного производства по п.1 или 2, в котором восстановительное устройство, обрабатывающий блок и устройство аддитивного производства расположены в контейнере или в передвижном здании.
4. Устройство по любому предыдущему пункту, в котором восстановительное устройство содержит электрохимическую ячейку, в которой в процессе эксплуатации анод и катод находятся в контакте с расплавленной солью, а исходный материал контактирует с катодом и расплавленной солью, и источник электропитания для приложения катодного потенциала к катоду, так что исходный материал восстанавливается до металлического продукта.
5. Устройство по п.4, в котором восстановительное устройство содержит загрузочный блок для загрузки исходного материала на катод и блок предварительного нагрева для предварительного нагрева исходного материала и катода для погружения в расплавленную соль.
6. Устройство по п.4 или 5, в котором катод, несущий металлический продукт, является извлекаемым из электрохимической ячейки и в котором восстановительное устройство содержит охлаждающий блок для охлаждения катода и металлического продукта перед обработкой металлического продукта обрабатывающим блоком.
7. Устройство по п.5 или 6, в котором после загрузки исходного материала на катод в загрузочном блоке катод, несущий исходный материал, перемещен в горизонтальном направлении до положения под анодом, а затем анод и катод опущены в расплавленную соль.
8. Устройство по пп.5, 6 или 7, в котором после восстановления исходного материала с получением металлического продукта анод и катод, несущий металлический продукт, поднят из расплавленной соли перед тем, как катод, несущий металлический продукт, перемещен по горизонтали в охлаждающий блок.
9. Устройство по любому предыдущему пункту, в котором обрабатывающий блок содержит измельчитель для измельчения металлического продукта с образованием металлических частиц из металлического продукта, а также предпочтительно классификатор или сито для отбора металлических частиц заданного диапазона размеров, образующих металлический порошок.
10. Устройство по п.9, в котором обрабатывающий блок содержит сфероидизирующее устройство для сфероидизации металлических частиц с получением металлического порошка.
11. Устройство по п.9 или 10, в котором обрабатывающий блок содержит магнитный сепаратор для отделения ферромагнитных частиц от неферромагнитных частиц в металлических частицах или в металлическом порошке.
12. Устройство по любому предыдущему пункту, в котором устройство аддитивного производства содержит 3D-принтер, такой как машина для селективной лазерной плавки, машина для селективного лазерного спекания или машина для селективной электронно-лучевой плавки.
13. Устройство по любому предыдущему пункту, в котором устройство аддитивного производства содержит устройство для напыления покрытия, такое как устройство для плазменного напыления покрытия.
14. Устройство по любому предыдущему пункту, в котором металлический порошок содержит титан или сплав на основе титана.
15. Устройство по любому предыдущему пункту, в котором часть металлического порошка, подаваемого в устройство аддитивного производства, не образует часть металлического продукта, но окисляется в процессе аддитивного производства, образуя окисленный металлический порошок, и в котором этот окисленный металлический порошок подают в качестве исходного материала или в качестве компонента исходного материала в восстановительное устройство.
16. Устройство по любому предыдущему пункту, в котором исходный материал содержит соединения, включающие элементы, соответствующие элементам, образующим металлический продукт.

17. Устройство по любому предыдущему пункту, в котором исходный материал содержит природную руду из элементов, образующих металлический продукт, такую как рутил.

18. Устройство по любому предыдущему пункту, которое способно производить от 6 до 12 кг металлического порошка в сутки.

19. Способ производства металлического изделия из порошкового сырья, включающий управление электрохимическим восстановлением заданного сырья с получением металлического продукта, преобразованием металлического продукта в металлический порошок и изготовлением металлического изделия из металлического порошка посредством аддитивного производства.

20. Способ по п.19, включающий этапы загрузки исходного материала на катод, предварительного нагрева исходного материала и катода и последующего погружения их в расплавленную соль для электровосстановления исходного материала.

21. Способ по п.20, включающий этапы удаления катода, несущего металлический продукт, из электрохимической ячейки и охлаждения катода и металлического продукта перед обработкой металлического продукта обрабатывающим блоком.

22. Способ по п.20 или 21, включающий этапы, на которых после загрузки исходного материала на катод, перемещают катод, несущий исходный материал, по горизонтали до положения под анодом, и опускают анод и катод в расплавленную соль.

23. Способ по пп.20, 21 или 22, включающий этапы, на которых после восстановления исходного материала до металлического продукта, поднимают анод и катод, несущий металлический продукт, из расплавленной соли, перед перемещением катода, несущего металлический продукт, по горизонтали в охлаждающий блок.

24. Способ по любому из пп.19-23, в котором преобразование металлического продукта включает измельчение металлического продукта с получением металлических частиц из металлического продукта и классификацию или просеивание металлических частиц для отбора металлических частиц заданного диапазона размеров, образующих металлический порошок.

25. Способ по любому из пп.19-24, в котором преобразование металлического продукта включает сфероидизацию металлических частиц с образованием металлического порошка.

26. Способ по любому из пп.19-25, в котором преобразование металлического продукта включает магнитное отделение ферромагнитных частиц от неферромагнитных частиц в металлических частицах или металлическом порошке.

27. Способ по любому из пп.19-26, в котором металлический порошок содержит титан или сплав на основе титана.

28. Способ по любому из пп.19-27, в котором часть металлического порошка, подаваемого в устройство аддитивного производства, не образует часть металлического продукта, но окисляется в процессе аддитивного производства с образованием окисленного металлического порошка, причем способ включает этап подачи окисленного металлического порошка в качестве исходного материала или в качестве компонента исходного материала в восстановительное устройство.

29. Способ по любому из пп.19-28, включающий управление устройством для получения от 6 до 12 кг металлического порошка в сутки.

Перечень фигур чертежей

Далее описаны конкретные варианты осуществления настоящего изобретения со ссылкой на прилагаемые чертежи, где:

Фиг. 1 - блок-схема первого варианта осуществления настоящего изобретения;

Фиг. 2 - блок-схема восстановительного устройства по первому варианту осуществления настоящего изобретения;

Фиг. 3 - блок-схема обрабатывающего блока по первому варианту осуществления настоящего изобретения.

Сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения

Первый вариант осуществления изобретения представляет собой высокоавтоматизированную систему, которая получает от 6 до 12 кг порошка титана и/или титанового сплава за 24-часовой цикл с уменьшенной занимаемой площадью по сравнению с обычным устройством. Система или блок включают восстановительное устройство 2, обрабатывающий блок 4 и блок 6 селективной лазерной плавки.

Восстановительное устройство содержит электрохимическую ячейку для восстановления исходного материала, который находится либо в форме порошка соединения металла, либо порошка окисленного металла (полученного в качестве побочного продукта процесса аддитивного производства) или смеси из этих порошков. Обрабатывающий блок содержит блоки обработки металлического продукта, полученного на этапе восстановления, а также очистки, классификации и упаковки продукта в мешки в инертной атмосфере.

Размер и конструкция устройства в этом варианте осуществления основаны на потребности в подаче материала машины 6 селективной лазерной плавки (SLM). Такие машины имеют среднюю массу плиты 50-70 кг и скорость осаждения между 40 и 160 г/ч при общей потребности около 2,4 кг/сут. Машины для электронно-лучевой плавки (EBM) обычно имеют несколько меньшую массу плиты от 20 до 50 кг,

но более высокую скорость осаждения - около 500 г/ч, что соответствует потребности в подаче металлического порошка около 12 кг/сут. Варианты осуществления настоящего изобретения могут быть разработаны так, чтобы охватить любой из этих сценариев.

В процессе эксплуатации исходный материал загружают в катодный лоток, который затем вводят в устройство 8 для предварительного нагрева. Машина 10 для транспортировки лотка перемещает лоток из этого нагревателя в камеру 12 электрохимического восстановления и, когда цикл электровосстановления завершается, перемещает лоток с восстановленным металлическим продуктом в охлаждающий блок 14. После этого восстановительное устройство готово к принятию следующего лотка для продолжения этого цикла. После охлаждения до комнатной температуры лоток извлекают и подают в обрабатывающий блок 4, где его замачивают в ванне (не показана) для удаления нежелательной соли из металлического продукта. Затем полученный продукт в форме слегка спеченного брикета подвергают последующей обработке путем дробления или измельчения 16, дополнительной промывки и измельчения 18, магнитной сепарации 20 для удаления ферромагнитных примесей, сушки 22 в аргоне, просеивания или классификации 24 и упаковки 26 для подачи в машину SLM. Преимущественно этот продукт дополнительно подвергают плазменной сфероидизации (не показана) перед его упаковкой для подачи в виде сферического металлического порошка в машину SLM.

Задачей предпочтительного варианта осуществления изобретения является создание компактного и высокоавтоматизированного инструмента для выполнения следующих этапов: загрузка оксидного порошка на катодный лоток; введение оксидного порошка на лотке в данное устройство; проведение электролиза и извлечение лотка; подача восстановленного металлического продукта в обрабатывающий блок, который выполняет дробление слабо спеченного брикета или бруска продукта, промывку и сушку полученных металлических частиц, магнитную сепарацию металлических примесей и упаковку порошка под аргон для хранения или сфероидизации; и подача для процесса аддитивного производства.

Такое устройство может обрабатывать любой титановый сплав в диапазоне легирующих элементов, а также регенерировать порошок, ранее обработанный в машине SLM, но не являющийся частью металлического изделия, полученного в процессе SLM.

Предполагается, что расплавленная соль, преимущественно смесь хлорида кальция и оксида кальция, в электрохимической ячейке будет находиться в металлическом тигле, оборудованном катодной защитой, чтобы избежать коррозии, при этом анод будет иметь возможность двигаться вверх и вниз, пока лоток будет перемещаться в поперечном направлении от нагревателя, под анодом, затем вертикально с анодом в ванну и (после восстановления) вверх и в сторону в охлаждающий блок, как показано на фиг. 2.

Электрохимическая ячейка рассчитана на следующие технические характеристики.

Плотность тока: 5000-7500 А/м².

Загрузка лотка (оксид): 6-12 кг.

Время цикла: 12-24 ч.

Выход металла: 5-8 кг/сут.

Диаметр анода и катода: 40-60 см.

Материал анода: углерод.

Складской запас соли: 200-400 л.

Соль: смесь CaCl₂ и CaO.

Рабочая температура соли: 950°C.

Нагрев: внешний, с внутренним нагревом в процессе эксплуатации ячейки.

Атмосфера: аргон в охлаждающем блоке, смесь CO/CO₂ в электрохимической ячейке и обычный воздух в нагревателе.

Авторы изобретения приложили значительные усилия для оптимизации обработки после восстановления, и в предпочтительном варианте обрабатывающий блок выполняет следующие стадии:

- 1) выдержка;
- 2) дробление брикета;
- 3) измельчение в частицы;
- 4) мокрая оттирка;
- 5) мокрая магнитная сепарация;
- 6) сушка в псевдооживленном слое;
- 7) сортировка продукта по крупности;
- 8) упаковка продукта.

Упрощенная блок-схема составных частей обрабатывающего блока показана на фиг. 3.

Этот блок также преимущественно выполняет сфероидизацию, преимущественно на основе технологии индукционной плазмы для получения частиц порошка круглой формы. Частицы подают в камеру, где генерируется плазма, падают в камере и расплавляются и снова затвердевают в сферической форме.

Использование сфероидизирующего устройства позволяет улучшить следующие характеристики полученного порошка:

повысить текучесть порошка,

снизить пористость порошка,
повысить качество продукции.

В дополнение к этим соображениям предпочтительный вариант осуществления настоящего изобретения содержит программируемую систему управления для управления функциями, описанными выше. Кроме того, система управления связана, например, через интернет или другую удаленную связь с удаленным сервером, управляемым системным оператором. Таким образом, системный оператор может оптимизировать производительность устройства, а также контролировать и оптимизировать производительность нескольких аналогичных устройств, установленных в разных местах.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Устройство для производства металлического изделия, содержащее восстановительное устройство для электрохимического восстановления исходного материала до металлического продукта;
обрабатывающий блок для приема металлического продукта от восстановительного устройства и для преобразования металлического продукта в металлический порошок и
устройство аддитивного производства для приема металлического порошка от обрабатывающего блока и для изготовления металлического изделия из металлического порошка,
в котором восстановительное устройство, обрабатывающий блок и устройство аддитивного производства расположены рядом или расположены на одном участке и
в котором восстановительное устройство содержит электрохимическую ячейку, в которой в процессе эксплуатации анод и катод находятся в контакте с расплавленной солью, а исходный материал контактирует с катодом и расплавленной солью, и источник электропитания для приложения катодного потенциала к катоду, так что исходный материал восстанавливается до металлического продукта.
2. Устройство по п.1, в котором восстановительное устройство, обрабатывающий блок и устройство аддитивного производства расположены в одном контейнере или в передвижном здании.
3. Устройство по п.1, в котором восстановительное устройство содержит загрузочный блок для загрузки исходного материала на катод и блок предварительного нагрева для нагрева исходного материала и катода для погружения в расплавленную соль.
4. Устройство по п.1, в котором катод, несущий металлический продукт, является извлекаемым из электрохимической ячейки и в котором восстановительное устройство содержит охлаждающий блок для охлаждения катода и металлического продукта перед обработкой металлического продукта обрабатывающим блоком.
5. Устройство по п.3, в котором катод, несущий металлический продукт, является извлекаемым из электрохимической ячейки и в котором восстановительное устройство содержит охлаждающий блок для охлаждения катода и металлического продукта перед обработкой металлического продукта обрабатывающим блоком.
6. Устройство по пп.3, 4 или 5, в котором после загрузки исходного материала на катод в загрузочном блоке катод, несущий исходный материал, перемещен в горизонтальном направлении до положения под анодом, а затем анод и катод опущены в расплавленную соль.
7. Устройство по пп.4, 5 или 6, в котором после восстановления исходного материала с получением металлического продукта анод и катод, несущий металлический продукт, поднят из расплавленной соли перед тем, как катод, несущий металлический продукт, перемещен горизонтально в охлаждающий блок.
8. Устройство по любому предыдущему пункту, в котором обрабатывающий блок содержит измельчитель для измельчения металлического продукта с получением металлических частиц из металлического продукта, а также классификатор или сито для отбора металлических частиц заданного диапазона размеров с образованием металлического порошка.
9. Устройство по п.8, в котором обрабатывающий блок содержит сфероидизирующее устройство для сфероидизации металлических частиц с получением металлического порошка.
10. Устройство по п.8 или 9, в котором обрабатывающий блок содержит магнитный сепаратор для отделения ферромагнитных частиц от неферромагнитных частиц в металлических частицах или металлическом порошке.
11. Устройство по любому предыдущему пункту, в котором устройство аддитивного производства содержит 3D-принтер, машину для селективной лазерной плавки, машину для селективного лазерного спекания или машину для селективной электронно-лучевой плавки.
12. Устройство по любому предыдущему пункту, в котором устройство аддитивного производства содержит устройство для напыления покрытия, такое как устройство для плазменного напыления покрытия.
13. Устройство по любому предыдущему пункту, в котором металлический порошок содержит титан или сплав на основе титана.
14. Устройство по любому предыдущему пункту, в котором часть металлического порошка, подаваемого в устройство аддитивного производства, не образует часть металлического продукта, но окисля-

ется в процессе аддитивного производства, образуя окисленный металлический порошок, и в котором этот окисленный металлический порошок подают в качестве исходного материала или в качестве компонента исходного материала в восстановительное устройство.

15. Устройство по любому предыдущему пункту, в котором исходный материал содержит соединение, включающее элементы, соответствующие элементам, образующим металлический продукт.

16. Устройство по любому предыдущему пункту, в котором исходный материал содержит природную руду из элементов, образующих металлический продукт, такую как рутил.

17. Устройство по любому предыдущему пункту, которое способно производить от 6 до 12 кг металлического порошка в сутки.

18. Способ производства металлического изделия из порошкового исходного материала, включающий:

электрохимическое восстановление заданного исходного материала посредством восстановительного устройства с получением металлического продукта;

ввод металлического продукта из восстановительного устройства в обрабатывающий блок преобразования металлического продукта в металлический порошок посредством обрабатывающего блока;

ввод металлического порошка из обрабатывающего блока в устройство аддитивного производства и изготовление металлического изделия из металлического порошка посредством устройства аддитивного производства,

причем восстановительное устройство, обрабатывающий блок и устройство аддитивного производства располагают один рядом с другим, или располагают в одном контейнере или в одном здании, или располагают на одном участке, и

в котором восстановительное устройство содержит электрохимическую ячейку, в которой в процессе эксплуатации анод и катод находятся в контакте с расплавленной солью, а исходный материал контактирует с катодом и расплавленной солью, и источник электропитания для приложения катодного потенциала к катоду, так что исходный материал восстанавливается до металлического продукта.

19. Способ по п.18, включающий этапы загрузки исходного материала на катод, предварительного нагрева исходного материала и катода и последующего погружения их в расплавленную соль для электровосстановления исходного материала.

20. Способ по п.19, включающий этапы извлечения катода, несущего металлический продукт, из электрохимической ячейки и охлаждения катода и металлического продукта перед обработкой металлического продукта обрабатывающим блоком, причем электрохимическая ячейка и обрабатывающий блок расположены один рядом с другим, или расположены в одном контейнере или здании, или расположены на одном участке.

21. Способ по п.19 или 20, включающий этапы, на которых после загрузки исходного материала на катод перемещают катод, несущий исходный материал, по горизонтали до положения под анодом и опускают анод и катод в расплавленную соль.

22. Способ по пп.19, 20 или 21, включающий этапы, на которых после восстановления исходного материала с получением металлического продукта поднимают анод и катод, несущий металлический продукт, из расплавленной соли перед перемещением катода, несущего металлический продукт, горизонтально в охлаждающий блок.

23. Способ по любому из пп.18-22, в котором преобразование металлического продукта включает измельчение металлического продукта с получением металлических частиц из металлического продукта и классификацию или просеивание этих металлических частиц для отбора металлических частиц заданного диапазона размеров, образующих металлический порошок.

24. Способ по любому из пп.18-23, в котором преобразование металлического продукта включает сфероидизацию металлических частиц с образованием металлического порошка.

25. Способ по любому из пп.18-24, в котором преобразование металлического продукта включает магнитное отделение ферромагнитных частиц от неферромагнитных частиц в металлических частицах или в металлическом порошке.

26. Способ по любому из пп.18-25, в котором металлический порошок содержит титан или сплав на основе титана.

27. Способ по любому из пп.18-26, в котором часть металлического порошка, подаваемого в устройство аддитивного производства, не образует часть металлического продукта, но окисляется в устройстве аддитивного производства с образованием окисленного металлического порошка, причем способ включает этап подачи окисленного металлического порошка в качестве исходного материала или в качестве компонента исходного материала в восстановительное устройство.

28. Способ по любому из пп.18-27, включающий управление указанным устройством для получения от 6 до 12 кг металлического порошка в сутки.

29. Производственная система, содержащая устройство для производства металлического изделия по любому из пп.1-17 и систему управления устройством для производства металлического изделия, при этом система управления содержит локально расположенный контроллер, соединенный с устройством для производства металлического изделия для управления работой устройства для производства метал-

лического изделия и для получения от него обратной связи, и удаленный сервер, соединенный с локально расположенным контроллером для обеспечения управления локально расположенным контроллером с помощью экспертной системы.

30. Производственная система по п.29, в которой множество локально расположенных контроллеров, каждый для управления соответствующим устройством для производства металлического изделия, соединены с одним удаленным сервером для управления экспертной системой.

31. Производственная система по п.29 или 30, в которой указанный или каждый локально расположенный контроллер соединен с указанным или каждым устройством для производства металлического изделия.

32. Производственная система по пп.29, 30 или 31, в которой, когда для устройства для производства металлического изделия предоставляется конкретный исходный материал, удаленный сервер предоставляет соответствующие параметры управления локально расположенному контроллеру с обеспечением локально расположенному контроллеру возможности управления устройством для производства металлического изделия для обработки данного исходного материала.

33. Производственная система по п.32, в которой, когда требуемый металлический продукт должен быть изготовлен из требуемого металлического сплава, для устройства для производства металлического изделия предоставляется соответствующий исходный материал, а удаленный сервер предоставляет параметры управления локально расположенному контроллеру с обеспечением локально расположенному контроллеру возможности управления устройством для производства металлического изделия для изготовления металлического изделия.

34. Производственная система по п.32 или 33, в которой исходный материал предоставляется в предварительно подготовленном количестве, а удаленный сервер предоставляет соответствующие параметры управления для обработки предварительно подготовленного количества исходного материала для изготовления металлического изделия.

35. Способ управления устройством для производства металлического изделия по пп.1-17, включающий этапы:

предоставление управления экспертной системой с удаленного сервера локально расположенному контроллеру и

эксплуатация локально расположенного контроллера для управления устройством для производства металлического изделия для изготовления требуемого металлического изделия, при этом эксплуатация локально расположенного контроллера включает в себя:

управление восстановительным устройством для электрохимического восстановления исходного материала до металлического продукта;

управление обрабатывающим блоком для преобразования металлического продукта в металлический порошок и

управление устройством аддитивного производства для изготовления требуемого металлического изделия из металлического порошка.

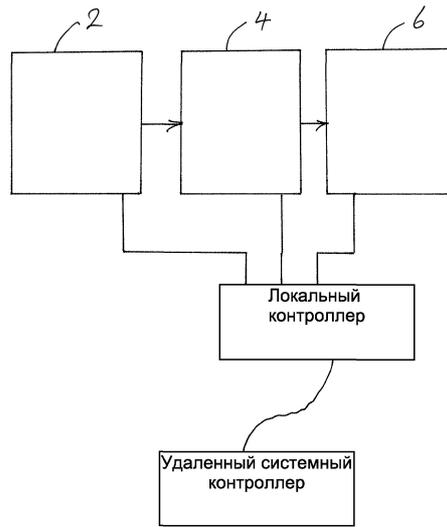
36. Способ по п.35, включающий этап обеспечения обратной связи от устройства для производства металлического изделия на локально расположенный контроллер и, при необходимости, для обеспечения обратной связи от локально расположенного контроллера для управления устройством для производства металлического изделия.

37. Способ по п.35 или 36, включающий этап, на котором удаленный сервер предоставляет параметры управления или обеспечивает управление экспертной системой и, при необходимости, принимает обратную связь от множества локально расположенных контроллеров, соединенных с соответствующим устройством для производства металлического изделия, при необходимости на разных участках.

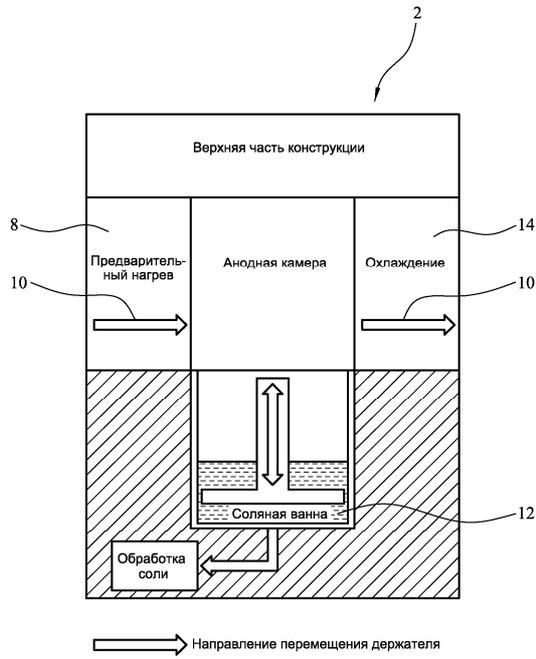
38. Способ по пп.35, 36 или 37, в котором, когда конкретный исходный материал предоставляют для устройства для производства металлического изделия, удаленный сервер предоставляет параметры управления локально расположенному контроллеру с обеспечением локально расположенному контроллеру возможности управления устройством для производства металлического изделия для обработки исходного материала.

39. Способ по п.38, включающий этапы, на которых, когда требуемый металлический продукт должен быть изготовлен из требуемого металлического сплава, для устройства для производства металлического изделия предоставляют соответствующий исходный материал, а удаленный сервер предоставляет параметры управления локально расположенному контроллеру с обеспечением локально расположенному контроллеру возможности управления устройством для производства металлического изделия для изготовления металлического изделия.

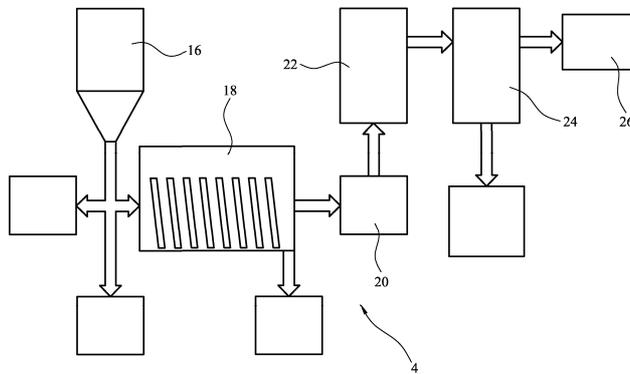
40. Способ по п.38 или 39, включающий этап, на котором предоставляют исходный материал в предварительно подготовленном количестве и предоставляют с удаленного сервера соответствующие параметры управления для обработки предварительно подготовленного количества исходного материала для изготовления металлического изделия.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3