

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202092056 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2020.11.25(51) Int. Cl. B22F 9/14 (2006.01)
B22F 9/18 (2006.01)(22) Дата подачи заявки
2019.03.18(54) СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СФЕРИЧЕСКИХ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ ВЫСОКОЙ ЧИСТОТЫ ИЗ РАСПЛАВЛЕННОГО
СЫРЬЯ

(31) 62/644,459

(72) Изобретатель:

(32) 2018.03.17

Аллард Бернард, Карабин Пьер,
Дорваль Дион Кристофер Алекс, Пру
Франсуа, Мардан Милад (СА)

(33) US

(86) PCT/CA2019/000034

(87) WO 2019/178668 2019.09.26

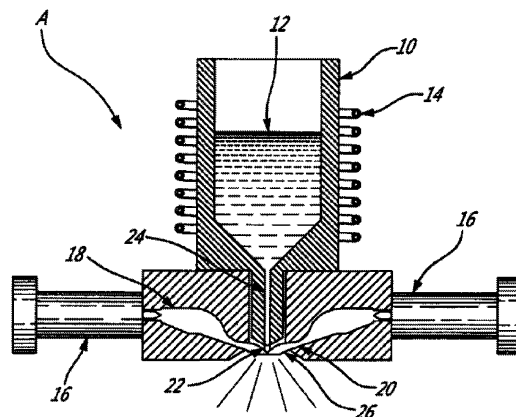
(74) Представитель:

(71) Заявитель:

Носырева Е.Л. (RU)

ПАЙРОДЖЕНИЗИС КЭНАДА ИНК.
(СА)

(57) Устройство для производства металлических порошков из расплавленного сырья содержит источник нагрева для плавления твердого сырья в расплавленный исходный материал и тигель для содержания расплавленного исходного материала. Для подачи расплавленного исходного материала в виде расплавленного потока также предусмотрена трубка подачи жидкости. Поток плазмы доставляется плазменным источником, при этом поток плазмы выполнен с возможностью ускорения до сверхзвуковой скорости, а затем с возможностью столкновения с расплавленным потоком для производства металлических порошков. Трубка подачи проходит из тигля в местоположение, в котором сверхзвуковой плазменный факел атомизирует расплавленный поток. Плазменный источник содержит по меньшей мере две плазменные горелки, оснащенные по меньшей мере одним сверхзвуковым соплом, направленным на расплавленный поток. Множество плазменных горелок расположено симметрично, например в кольцевой конфигурации, вокруг местоположения, в котором сверхзвуковые плазменные факелы атомизируют расплавленный поток.



A1

202092056

202092056

A1

P21747785EA

**СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СФЕРИЧЕСКИХ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ ВЫСОКОЙ ЧИСТОТЫ ИЗ
РАСПЛАВЛЕННОГО СЫРЬЯ**

ПЕРЕКРЕСТНАЯ ССЫЛКА НА РОДСТВЕННЫЕ ЗАЯВКИ

[0001] Эта заявка испрашивает приоритет предварительной заявки на патент США № 62/644 459, в настоящее время находящейся в процессе рассмотрения, поданной 17 марта 2018 г., которая включена в настоящий документ посредством ссылки.

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

[0002] Настоящее изобретение относится к материалам с улучшенными свойствами и, в частности, к производству металлических порошков для различных применений, таких как аддитивное производство для аэрокосмической и медицинской промышленности.

ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0003] При атомизации водой для атомизации расплавленного потока металла на очень тонкодисперсные частицы в качестве атомизирующей среды используется вода. Так как вода представляет собой несжимаемую текучую среду, струя под высоким давлением обеспечивает как плотность, так и скорость, необходимые для производства тонкодисперсных порошков с высокой производительностью. Однако с точки зрения применений атомизация водой имеет несколько ограничений, вызванных загрязнениями от воды и в высокой степени неправильной и угловатой формой производимого таким образом порошка.

[0004] Что касается атомизации газом, она позволяет производить металлические порошки высокой чистоты путем соударения расплавленного потока со струей инертного газа под высоким давлением. Однако данный способ обычно приводит к очень низкому выходу порошков более тонкодисперсного размера или

обладает относительно низкой производительностью. Для достижения удовлетворительного компромисса между обоими этими аспектами требуются очень высокие давления для создания холодной сверхзвуковой струи. Атомизация холодным газом имеет недостаток, связанный с чрезмерно быстрым замерзанием расплавленных частиц, что является причиной захвата газа внутри частиц, из-за которого такие порошки меньше подходят для применений в трехмерной печати, так как это непосредственно влияет на плотность напечатанной детали. Кроме того, вследствие высокой скорости охлаждения при закалке форма частиц часто является сфероидальной, а не сферической. Проблему, связанную с данной технологией, часто также представляют сопутствующие компоненты, поскольку большое количество используемого газа вызывает интенсивную турбулентность порошка, которая заставляет более тонкодисперсные частицы рециркулировать в камере охлаждения.

[0005] Что касается плазменной атомизации, для нее в качестве сырья вместо расплавленного потока обычно используют проволоку, а в качестве атомизирующего агента для дробления частиц используют источник плазмы (также известный как плазменная горелка). Использование проволоки придает устойчивость, необходимую для обеспечения надлежащего направления тонких плазменных струй на проволоку, поскольку проволоку необходимо расплавить и атомизировать за один этап. По данной технологии в настоящее время производят наиболее тонкодисперсный, наиболее сферический и наиболее плотный порошок на рынке. Иными словами, выход порошка, произведенного в диапазоне 0—106 микрон, является очень высоким, сферичность близка к совершенной, а захват газа сведен к минимуму. Однако данная технология имеет два основных недостатка. Во-первых, в значительной степени ограничивающей является зависимость от проволоки в качестве сырья, поскольку некоторые материалы являются слишком хрупкими для изготовления в форме проволоки. Кроме того, использование проволоки имеет следствием повышение стоимости сырьевого материала, так как для производства рассматриваемой проволоки слитки необходимо заново расплавить с целью экструзии. Вторым основным недостатком является намного меньшая производительность по сравнению с атомизацией водой и атомизацией газом. Сообщаемая компаниями производительность при плазменной атомизации составляет до 13 кг/ч. Специалисты в данной области техники признают, что более реалистичный диапазон для оптимального гранулометрического состава будет намного меньше. Например, в патенте США №5707419, озаглавленном «Method

of Production of Metal and Ceramic Powders by Plasma Atomization» и выданном на имя Tsantrizos и др. 13 января 1998 г., сообщается скорость подачи титана, составляющая 14,7 г/мин, или 0,882 кг/ч, тогда как в публикации заявки на патент США №2017/0326649-A1, озаглавленной «Process and Apparatus for Producing Powder Particles by Atomization of a Feed Material in the Form of an Elongated Member», которая была опубликована 16 ноября 2017 г. с Boulos и др. как авторами изобретения, описана сообщаемая скорость подачи нержавеющей стали, составляющая 1,7 кг/ч.

[0006] Поэтому было бы желательно предоставить устройство и способ производства металлических порошков из источников, отличных от проволоки, со значительной производительностью.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0007] Таким образом, было бы желательно предоставить новое устройство и способ производства металлических порошков из расплавленного сырья.

[0008] В вариантах осуществления, описанных в настоящем документе, предоставлено в одном аспекте устройство для производства металлических порошков из расплавленного сырья, содержащее:

[0009] источник нагрева для плавления твердого сырья в расплавленный исходный материал;

[00010] тигель для содержания расплавленного исходного материала;

[00011] систему доставки для подачи расплавленного исходного материала в виде расплавленного потока; и

[00012] плазменный источник, выполненный с возможностью доставки потока плазмы;

[00013] при этом поток плазмы выполнен с возможностью ускорения до сверхзвуковой скорости, а также с возможностью столкновения с расплавленным потоком для производства металлических порошков.

[00014] Также, в вариантах осуществления, описанных в настоящем документе, предоставлен в другом аспекте способ производства металлических порошков из расплавленного сырья, включающий:

[00015] предоставление расплавленного исходного материала;

[00016] доставку расплавленного исходного материала в виде расплавленного потока;

[00017] предоставление потока плазмы;

[00018] ускорение потока плазмы до сверхзвуковой скорости; и

[00019] столкновение расплавленного потока со сверхзвуковым плазменным факелом для производства металлических порошков.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

[00020] Для лучшего понимания вариантов осуществления, описанных в данном документе, и для более наглядной демонстрации того, как они могут быть реализованы, далее исключительно для примера будет осуществлена ссылка на прилагаемые графические материалы, на которых показан по меньшей мере один приведенный в качестве примера вариант осуществления и на которых:

[00021] на фиг. 1 представлен схематический вертикальный вид в поперечном сечении устройства для производства металлических порошков из расплавленного сырья в соответствии с примерным вариантом осуществления;

[00022] на фиг. 2А представлен схематический вертикальный вид в поперечном сечении другого устройства для производства металлических порошков из расплавленного сырья в соответствии с примерным вариантом осуществления;

[00023] на фиг. 2В представлен схематический вид снизу в плане устройства по фиг. 2А;

[00024] на фиг. 3А представлен схематический вид в вертикальном разрезе устройства для производства металлических порошков из твердого или жидкого сырья в соответствии с дополнительным примерным вариантом осуществления; и

[00025] на фиг. 3В представлен схематический вертикальный вид в поперечном сечении устройства согласно фиг. 3А.

ОПИСАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

[00026] Подход, описанный в настоящем документе, предоставляет способы и устройства для производства металлических порошков из источников, отличных от проволоки, таких как жидкое или твердое сырье.

[00027] Известно, что для того, чтобы иметь реализуемый способ атомизации на плазменной основе, следует использовать проволоку. В настоящем изобретении для атомизации расплавленного потока используют сверхзвуковую плазменную струю; и ниже описаны различные относящиеся к нему варианты осуществления.

[00028] Способ плазменной атомизации, в котором используют проволоку, обеспечивает надлежащий контакт металла с плазменной струей для максимальной передачи тепла и импульса с тем, чтобы расплавить и атомизировать проволоку за один этап. Однако представляется, что отсутствуют физические причины, по которым энергия, необходимая для непрерывного плавления металла, обязательно должна предоставляться плазменным источником. При атомизациях газом и водой плавление и атомизация представляют собой два отдельных этапа. Такая конфигурация обеспечивает более высокую производительность как следствие того, что скорость плавления не ограничена длительностью теплопередачи и продолжительностью обработки сырья сверхзвуковой струей.

[00029] В настоящем изобретении предоставлен способ атомизации жидкого исходного материала, как и при атомизациях газом и водой, с использованием плазменных струй.

[00030] В частности, для доставки потока плазмы, который может быть ускорен до сверхзвуковой скорости перед соударением с расплавленным потоком с высоким импульсом, предусмотрен источник плазмы, такой как одна или несколько плазменных горелок.

[00031] Применение данной концепции на практике является более сложным, чем можно предположить из предыдущего заявления, поскольку сверхзвуковые

плазменные струи трудно содержать, так как они создают чрезвычайно жесткие внешние условия для их выдерживания материалами.

[00032] Например, температура плавления титанового сплава (Ti-6Al-4V) составляет приблизительно 1660°C. Для обеспечения надлежащего промежутка времени для достижения жидкой частицей сферической формы, газовую струю доставляют с температурой выше температуры плавления материала, подлежащего атомизации. Для Ti-6Al-4V предпочтительной является температура струи приблизительно 1900°C. На основании того, что сверхзвуковые скорости преобразуют тепловую энергию и давление в скорости Маха, следует ожидать значительного падения температуры между положениями перед горловиной (выше по потоку) и после горловины (ниже по потоку) сверхзвукового сопла. Соответственно, для получения струи Маха с температурой 1900 °C в центральной точке (точке схождения плазменной струи (струй) и расплавленного потока, подлежащего атомизации) на входе сверхзвукового сопла может потребоваться температура выше 2500 °C. С учетом тепловых потерь в термокамере высокого давления, расположенной перед соплом, можно с легкостью утверждать, что плазменный источник должен иметь температуру факела выше 3000 °C. Промышленные высокоэнтальпийные горелки могут надежно обеспечивать такую температуру с использованием доступных для приобретения запасных частей.

[00033] Работа со сверхзвуковыми плазменными струями в ограниченной области всегда непростая. Вследствие природы этих струй, из-за очень высоких температур, тепловых ударов и механической эрозии, они обуславливают чрезвычайно жесткие внешние условия, которые приходится выдерживать материалам. По этой причине для конструирования пути плазмы от горелки до центральной точки необходимо выбирать надлежащие материалы. При температурах свыше 3000 °C скорость 1—2 в числах Маха может составлять 1500 м/с. Примерами материалов, которые можно использовать, являются графит — для камеры, и для сопла — твердые огнеупорные элементы, имеющие очень высокую температуру плавления, а также их карбиды, такие как вольфрам, карбид вольфрама, карбид титана, гафний, карбид гафния, ниобий, карбид ниобия, тантал, карбид тантала, молибден, карбид молибдена и т. д. Также предпочтительна работа в инертной атмосфере не только ради качества производимого

порошка (для снижения его способности к окислению), но также для содействия долговечности вышеупомянутых высокотемпературных материалов.

[00034] Источник потока плазмы может происходить из единственного источника или из комбинации нескольких источников, что более подробно описано далее.

[00035] Со ссылкой на фиг. 1 и фиг. 2А и 2В представлены варианты осуществления, в которых сырье является расплавленным и подается через центр кольца из плазменных горелок, подключенных или к газовому каналу, ведущему к одному кольцевому сверхзвуковому соплу (фиг. 1), или к их собственным соплам (фиг. 2А и 2В), и сфокусированных на центральной точке. Расплав можно получить или путем кондуктивного нагрева от плазменного факела, или любыми другими средствами плавления металла. Расплав может быть направлен через подающую трубку при помощи тяготения, давления газа, поршня или любой их комбинации.

[00036] В частности, на фиг. 1 изображено устройство А для производства металлических порошков из расплавленного сырья, которое содержит плавильный тигель 10, выполненный с возможностью содержания расплава 12 и нагреваемый при помощи устройства 14 индукционного нагрева или иным способом. Несколько промышленных плазменных горелок 16 соединены с предсопловой камерой 18 тороидальной формы. Выходы плазменных горелок соединены по касательной для создания внутри камеры 18 тороидальной формы вихря, обеспечивающего надлежащее перемешивание плазмообразующего газа и однородность смеси. Выход 20 камеры 18 тороидальной формы может или иметь форму одного кольцевого сверхзвукового сопла, направленного на поток 22 расплавленного сырья, или может содержать несколько сверхзвуковых отверстий (сопл), также направленных на расплавленный поток 22 в центре. Трубка 24 подачи для жидкого сырья 22 предусмотрена между плавильным тиглем 10 и местоположением, в котором сверхзвуковой плазменный факел 26 выполнен с возможностью атомизации расплавленного потока.

[00037] На фиг. 2А и 2В представлено другое устройство А' для производства металлических порошков из расплавленного сырья, в котором множество плазменных горелок 116 небольшого диаметра оснащены цилиндрическим сверхзвуковым соплом, установленным на каждой горелке 116. Плазменные горелки 116 скомпонованы в кольцевой конфигурации, как лучше всего видно на фиг. 2В, и каждая плазменная

горелка 116 направлена непосредственно на падающий расплавленный поток (жидкое сырье) 122, при этом горелки расположены кольцевым образом относительно расплавленного потока 122. Как указано выше, устройство A' содержит плавильный тигель 110, выполненный с возможностью содержания расплава 112 и подлежащий нагреву при помощи устройства 114 индукционного нагрева или других подходящих средств. Сверхзвуковые сопла предусмотрены в положении со ссылочной позицией 120 и направлены на поток 122 расплавленного сырья сверхзвуковыми плазменными факелами, представленными ссылочной позицией 126. Трубка 124 подачи для жидкого сырья предусмотрена между плавильным тиглем 110 и местоположением, в котором сверхзвуковые плазменные факелы 126 выполнены с возможностью атомизации расплавленного потока.

[00038] Обратимся к фиг. 3А и 3В, на которых изображено еще одно устройство A'' для производства металлических порошков из расплавленного сырья, а также из твердого сырья. В способе, связанном с устройством A'', твердое или жидкое сырье 212 подают при помощи тигля/направляющей 210 подачи через кольцевую плазменную горелку. Устройство A'' также содержит толкатель 202 (для твердого сырья), однако вместо этого оно может быть скомбинировано с подачей жидкости. Кольцевая горелка содержит набор электродов 200, соединенных в цепь последовательно, которые могут нагревать инертный газ до состояния плазмы и ускорять его для столкновения со стержнем сырья 212 с целью атомизации сырья 212. На фиг. 3В представлена электрическая дуга со ссылочной позицией 204, а плазменный факел обозначен ссылочной позицией 226. Сырье 212 может быть подогрето при помощи устройства 214 индукционного нагрева или резистивно.

[00039] Для каждого из вышеописанных устройств A, A' и A'' в горизонтальной оси предполагается, что сверхзвуковые струи направлены под углом, толкая расплавленный поток (струю) вниз.

[00040] Расплавленный поток может быть получен из стержней или слитков, а также из других источников. Конкретная методика (методики), используемая для плавления твердого сырья в расплавленный поток и его доставки в зону центральной точки, не имеет значения до тех пор, пока эта методика (методики) обеспечивает должные скорость, давление и температуру.

[00041] В настоящих примерных вариантах осуществления дуговая плазменная горелка является плазменным источником по причине ее общедоступности. Однако можно использовать множество других способов достижения состояния термической плазмы. Например, можно также использовать источники с индуктивно связанной плазмой, микроволновые и емкостные плазменные источники.

[00042] Другой представляющий интерес аспект настоящего изобретения заключается в том, что, поскольку газ и/или плазма имеет столь высокую температуру на входе сверхзвукового сопла, для достижения скорости Маха требуются намного менее высокие давления. За счет таких менее высоких давлений значительно снижается стоимость установки и толщина, необходимая для ее частей. Для примерных вариантов осуществления, упомянутых выше в настоящем документе, давление на входе 10 атм. является достаточным для питания всей установки, тогда как при атомизации тонкодисперсных частиц газом часто используются давления порядка 40—450 атм.

[00043] Несмотря на то, что вышеизложенное описание предоставляет примеры вариантов осуществления, следует понимать, что некоторые признаки и/или функции описанных вариантов осуществления поддаются модификации без отступления от сущности и принципов работы описанных вариантов осуществления. Соответственно, все, что было описано выше, было предназначено для пояснения вариантов осуществления, а не ограничения, и специалистам в данной области техники будет понятно, что другие изменения и модификации могут быть выполнены без отступления от объема вариантов осуществления, как определено в прилагаемой к настоящему документу формуле изобретения.

ССЫЛОЧНЫЕ ДОКУМЕНТЫ

- [1] Peter G. Tsantrizos, François Allaire and Majid Entezarian, «Method of Production of Metal and Ceramic Powders by Plasma Atomization», патент США № 5707419 от 13 января 1998 г.
- [2] Christopher Alex Dorval Dion, William Kreklewetz and Pierre Carabin, «Plasma Apparatus for the Production of High Quality Spherical Powders at High Capacity», публикация PCT № WO 2016/191854 A1 от 8 декабря 2016 г.
- [3] Michel Drouet, «Methods and Apparatuses for Preparing Spheroidal Powders», публикация PCT № WO 2011/054113 A1 от 12 мая 2011 г.
- [4] Maher I. Boulos, Jerzy W. Jurewicz and Alexandre Auger, «Process and Apparatus for Producing Powder Particles by Atomization of a Feed Material in the Form of an Elongated Member», публикация заявки на патент США №2017/0326649 A1 от 16 ноября 2017 г.
- [5] «Titanium MIM Moves into the Mainstream with Plasma Atomised Powders from AP&C», Powder Injection Moulding International, том 11, №. 2, июнь 2017.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Устройство для производства металлических порошков из расплавленного сырья, содержащее:

источник нагрева для плавления твердого сырья в расплавленный исходный материал;

тигель для содержания расплавленного исходного материала;

систему доставки для подачи расплавленного исходного материала в виде расплавленного потока; и

плазменный источник, выполненный с возможностью доставки потока плазмы;

при этом поток плазмы выполнен с возможностью ускорения до сверхзвуковой скорости, а также с возможностью столкновения с расплавленным потоком для производства металлических порошков.

2. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что поток плазмы доставляется по меньшей мере одним плазменным источником.

3. Устройство по любому из п. 1 и п. 2, отличающееся тем, что система доставки содержит трубку подачи жидкости, проходящую из тигля, для доставки расплавленного исходного материала вниз по потоку в местоположение, в котором сверхзвуковой плазменный факел выполнен с возможностью атомизации расплавленного потока.

4. Устройство по любому из пп. 1—3, отличающееся тем, что плазменный источник содержит по меньшей мере две плазменные горелки, соединенные с предсопловой камерой.

5. Устройство по п. 4, отличающееся тем, что предсопловая камера имеет тороидальную форму.

6. Устройство по любому из п. 4 и п. 5, отличающееся тем, что выходы плазменных горелок соединены по касательной для создания вихря внутри предсопловой камеры.

7. Устройство по любому из пп. 4—6, отличающееся тем, что выход предсопловой камеры содержит одно кольцевое сверхзвуковое сопло, направленное на расплавленный поток.

8. Устройство по любому из пп. 4—6, отличающееся тем, что выход предсопловой камеры содержит несколько сверхзвуковых отверстий, направленных на расплавленный поток.
9. Устройство по п. 8, отличающееся тем, что сверхзвуковые отверстия содержат сопла.
10. Устройство по любому из п. 8 и п. 9, отличающееся тем, что сверхзвуковые отверстия направлены в центр расплавленного потока.
11. Устройство по любому из пп. 4—10, отличающееся тем, что расплавленный исходный материал в тигле выполнен с возможностью нагрева при помощи устройства индукционного нагрева, обычно расположенного вокруг тигля.
12. Устройство по любому из пп. 1—3, отличающееся тем, что плазменный источник содержит по меньшей мере две плазменные горелки, каждая из которых оснащена цилиндрическим сверхзвуковым соплом.
13. Устройство по п. 12, отличающееся тем, что предусмотрено по меньшей мере четыре плазменные горелки, симметрично расположенные вокруг местоположения, в котором сверхзвуковые плазменные факелы атомизируют расплавленный поток.
14. Устройство по п. 13, отличающееся тем, что предусмотрено по меньшей мере шесть плазменных горелок, симметрично расположенных вокруг местоположения, в котором сверхзвуковые плазменные факелы атомизируют расплавленный поток.
15. Устройство по любому из пп. 12—14, отличающееся тем, что плазменные горелки скомпонованы в кольцевой конфигурации, при этом каждая плазменная горелка направлена непосредственно на расплавленный поток, выходящий из системы доставки.
16. Устройство по п. 15, отличающееся тем, что горелки расположены кольцевым образом относительно расплавленного потока.
17. Устройство по любому из пп. 12—16, отличающееся тем, что расплавленный исходный материал в тигле выполнен с возможностью нагрева при помощи устройства индукционного нагрева, обычно расположенного вокруг тигля.

18. Устройство по любому из пп. 1—3, отличающееся тем, что металлические порошки выполнены с возможностью производства или из расплавленного сырья, или из твердого сырья.
19. Устройство по п. 18, отличающееся тем, что плазменный источник содержит кольцевую плазменную горелку, и при этом твердое или жидкое сырье выполнено с возможностью подачи при помощи тигля/направляющей подачи через кольцевую плазменную горелку.
20. Устройство по любому из п. 18 и п. 19, отличающееся тем, что для подачи твердого сырья в кольцевую плазменную горелку предусмотрен толкатель.
21. Устройство по п. 20, отличающееся тем, что толкатель выполнен с возможностью подачи твердого сырья через тигель/направляющую подачи выше по потоку относительно кольцевой плазменной горелки.
22. Устройство по любому из пп. 19—21, отличающееся тем, что кольцевая плазменная горелка содержит набор электродов, соединенных в цепь последовательно и выполненных с возможностью нагрева инертного газа до состояния плазмы и его ускорения для столкновения с твердым сырьем с целью атомизации твердого сырья.
23. Устройство по любому из пп. 18—22, отличающееся тем, что твердое сырье по существу имеет форму стержня.
24. Устройство по любому из п. 22 и п. 23, отличающееся тем, что набор электродов расположен по кругу.
25. Устройство по любому из пп. 18—24, отличающееся тем, что сырье выполнено с возможностью подогрева устройством индукционного нагрева или резистивно.
26. Устройство по п. 25, отличающееся тем, что устройство индукционного нагрева расположено вокруг тигля/направляющей подачи.
27. Устройство по любому из пп. 4—11, отличающееся тем, что расплавленное сырье подается через центр кольца из плазменных горелок, соединенных с газовым каналом, ведущим к одному кольцевому сверхзвуковому соплу.

28. Устройство по любому из пп. 12—17, отличающееся тем, что расплавленное сырье подается через центр кольца из плазменных горелок, соединенных с газовым каналом, ведущим к соответствующим этим горелкам отдельным соплам, сфокусированным на центральной точке.

29. Устройство по любому из пп. 4—17, отличающееся тем, что расплавленный исходный материал можно получать или путем кондуктивного нагрева от плазменного факела, или любыми другими средствами плавления металла.

30. Устройство по любому из пп. 4—17, отличающееся тем, что расплавленный исходный материал можно направлять через систему доставки, такую как подающая трубка, при помощи по меньшей мере одного из тяготения, давления газа и поршня.

31. Устройство по любому из пп. 1—30, отличающееся тем, что сверхзвуковые струи потока плазмы направлены под углом для толкания расплавленного потока вниз по потоку.

32. Устройство по любому из пп. 1—31, отличающееся тем, что плазменный источник содержит дуговую плазменную горелку.

33. Устройство по любому из пп. 1—31, отличающееся тем, что плазменный источник содержит по меньшей мере одно из источника с индуктивно связанной плазмой, микроволнового и емкостного плазменных источников.

34. Способ производства металлических порошков из расплавленного сырья, включающий:

- предоставление расплавленного исходного материала;
- доставку расплавленного исходного материала в виде расплавленного потока;
- предоставление потока плазмы;
- ускорение потока плазмы до сверхзвуковой скорости; и
- столкновение расплавленного потока со сверхзвуковым плазменным факелом для производства металлических порошков.

35. Способ по п. 34, отличающийся тем, что поток плазмы доставляют по меньшей мере одним плазменным источником.

36. Способ по любому из п. 34 и п. 35, отличающийся тем, что расплавленный исходный материал доставляют по трубке подачи жидкости, проходящей из тигля, содержащего расплавленный исходный материал, вниз по потоку в местоположение, в котором сверхзвуковой плазменный факел выполнен с возможностью атомизации расплавленного потока.

37. Способ по любому из пп. 34—36, отличающийся тем, что плазменный источник содержит по меньшей мере две плазменные горелки, соединенные с предсопловой камерой.

38. Способ по п. 37, отличающийся тем, что предсопловая камера имеет тороидальную форму.

39. Способ по любому из п. 37 и п. 38, отличающийся тем, что выходы плазменных горелок соединены по касательной для создания вихря внутри предсопловой камеры.

40. Способ по любому из пп. 37—39, отличающийся тем, что выход предсопловой камеры содержит одно кольцевое сверхзвуковое сопло, направленное на расплавленный поток.

41. Способ по любому из пп. 37—39, отличающийся тем, что выход предсопловой камеры содержит несколько сверхзвуковых отверстий, направленных на расплавленный поток.

42. Способ по п. 41, отличающийся тем, что сверхзвуковые отверстия содержат сопла.

43. Способ по любому из п. 41 и п. 42, отличающийся тем, что сверхзвуковые отверстия направлены в центр расплавленного потока.

44. Способ по любому из пп. 37—43, отличающийся тем, что расплавленный исходный материал в тигле выполнен с возможностью нагрева при помощи устройства индукционного нагрева, обычно расположенного вокруг тигля.

45. Способ по любому из пп. 34—36, отличающийся тем, что плазменный источник содержит по меньшей мере две плазменные горелки, каждая из которых оснащена цилиндрическим сверхзвуковым соплом.
46. Способ по п. 45, отличающийся тем, что предусмотрено по меньшей мере четыре плазменные горелки, симметрично расположенные вокруг местоположения, в котором сверхзвуковые плазменные факелы атомизируют расплавленный поток.
47. Способ по п. 46, отличающийся тем, что предусмотрено по меньшей мере шесть плазменных горелок, симметрично расположенных вокруг местоположения, в котором сверхзвуковые плазменные факелы атомизируют расплавленный поток.
48. Способ по любому из пп. 45—47, отличающийся тем, что плазменные горелки скомпонованы в кольцевой конфигурации, при этом каждая плазменная горелка направлена непосредственно на расплавленный поток, выходящий из системы доставки.
49. Способ по п. 48, отличающийся тем, что горелки расположены кольцевым образом относительно расплавленного потока.
50. Способ по любому из пп. 45—49, отличающийся тем, что расплавленный исходный материал в тигле выполнен с возможностью нагрева при помощи устройства индукционного нагрева, обычно расположенного вокруг тигля.
51. Способ по любому из пп. 34—36, отличающийся тем, что металлические порошки выполнены с возможностью производства или из расплавленного сырья, или из твердого сырья.
52. Способ по п. 51, отличающийся тем, что плазменный источник содержит кольцевую плазменную горелку, и при этом твердое или жидкое сырье выполнено с возможностью подачи при помощи тигля/направляющей подачи через кольцевую плазменную горелку.
53. Способ по любому из п. 51 и п. 52, отличающийся тем, что для подачи твердого сырья в кольцевую плазменную горелку предусмотрен толкатель.

54. Способ по п. 53, отличающийся тем, что толкатель выполнен с возможностью подачи твердого сырья через тигель/направляющую подачи выше по потоку относительно кольцевой плазменной горелки.

55. Способ по любому из пп. 52—54, отличающийся тем, что кольцевая плазменная горелка содержит набор электродов, соединенных в цепь последовательно и выполненных с возможностью нагрева инертного газа до состояния плазмы и его ускорения для столкновения с твердым сырьем с целью атомизации твердого сырья.

56. Способ по любому из пп. 51—55, отличающийся тем, что твердое сырье по существу имеет форму стержня.

57. Способ по любому из п. 55 и п. 56, отличающийся тем, что набор электродов расположен по кругу.

58. Способ по любому из пп. 51—57, отличающийся тем, что сырье выполнено с возможностью подогрева устройством индукционного нагрева или резистивно.

59. Способ по п. 58, отличающийся тем, что устройство индукционного нагрева расположено вокруг тигля/направляющей подачи.

60. Способ по любому из пп. 37—44, отличающийся тем, что расплавленное сырье подают через центр кольца из плазменных горелок, соединенных с газовым каналом, ведущим к одному кольцевому сверхзвуковому соплу.

61. Способ по любому из пп. 45—50, отличающийся тем, что расплавленное сырье подают через центр кольца из плазменных горелок, соединенных с газовым каналом, ведущим к соответствующим этим горелкам отдельным соплам, сфокусированным на центральной точке.

62. Способ по любому из пп. 37—50, отличающийся тем, что расплавленный исходный материал можно получать или путем кондуктивного нагрева от плазменного факела, или любыми другими средствами плавления металла.

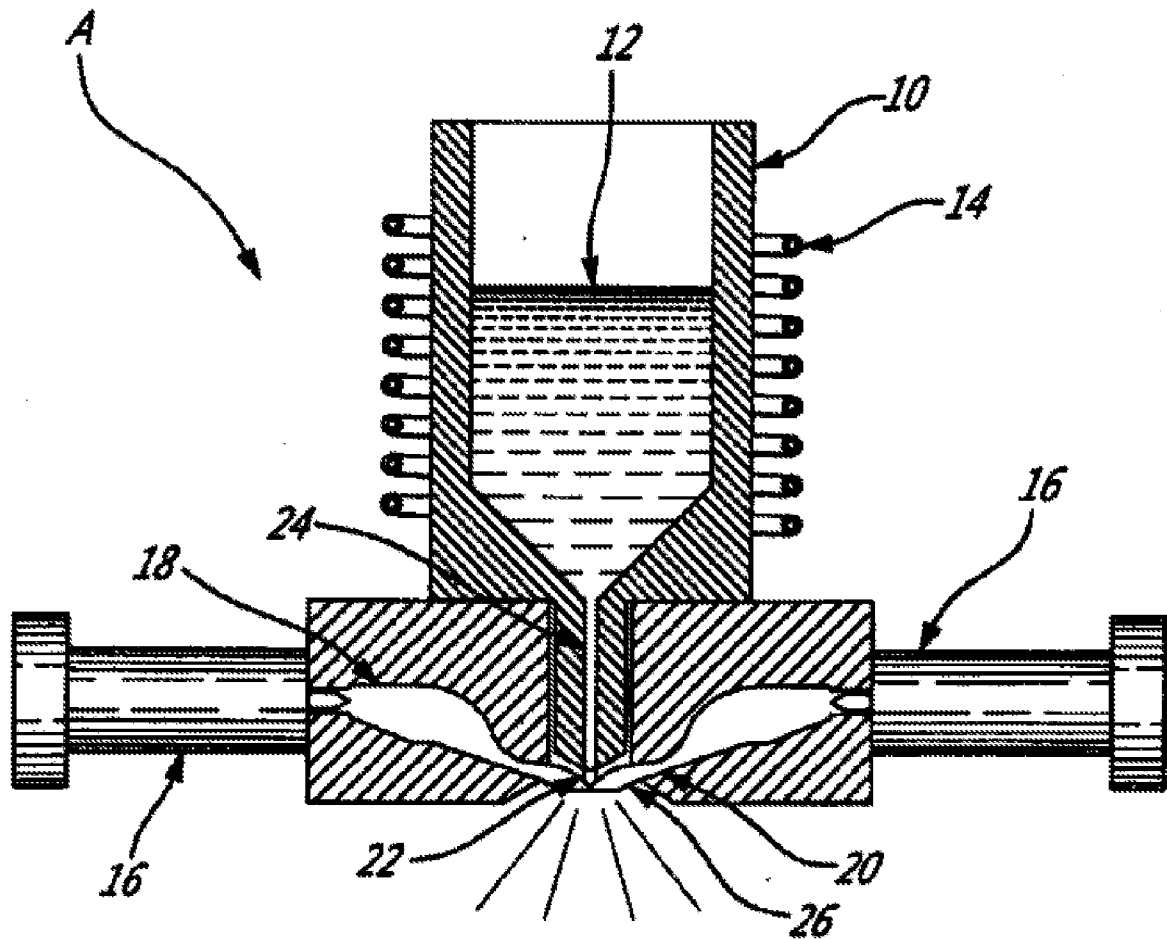
63. Способ по любому из пп. 37—50, отличающийся тем, что расплавленный исходный материал можно направлять через систему доставки, такую как подающая трубка, при помощи по меньшей мере одного из тяготения, давления газа и поршня.

64. Способ по любому из пп. 34—63, отличающийся тем, что сверхзвуковые струи потока плазмы направлены под углом для толкания расплавленного потока вниз по потоку.

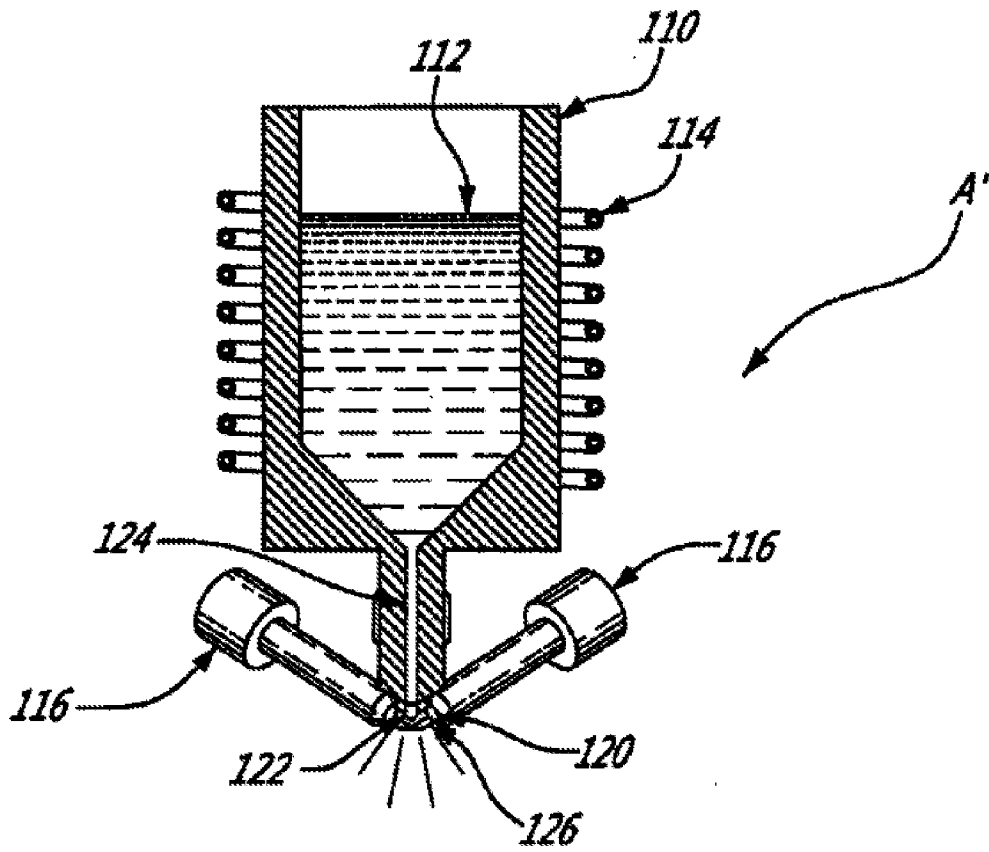
65. Способ по любому из пп. 34—64, отличающийся тем, что плазменный источник содержит дуговую плазменную горелку.

66. Способ по любому из пп. 34—64, отличающийся тем, что плазменный источник содержит по меньшей мере одно из источника с индуктивно связанной плазмой, микроволнового и емкостного плазменных источников.

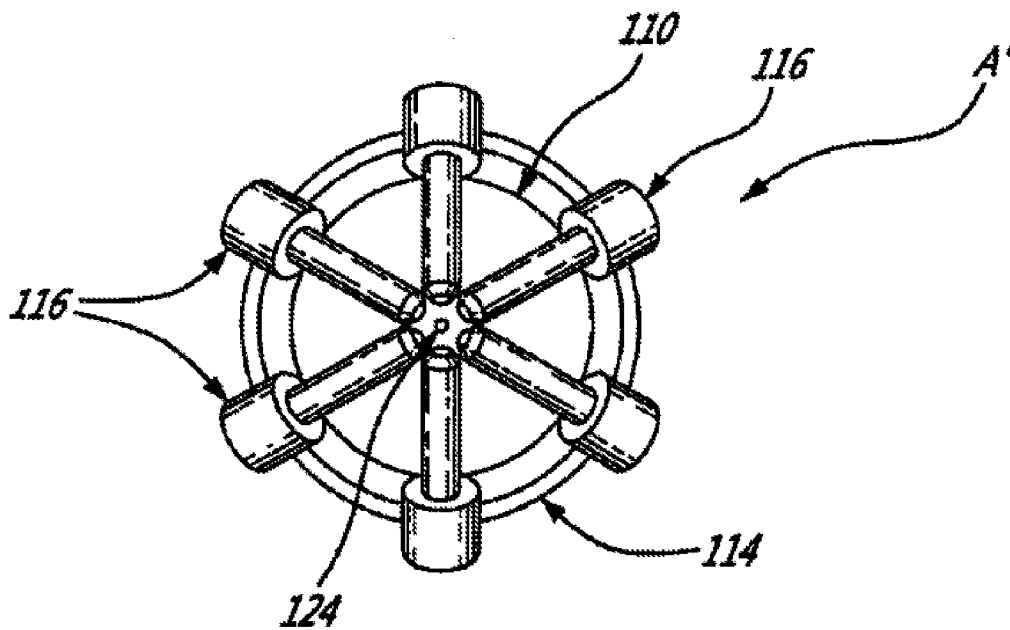
67. Способ по любому из пп. 34—66, отличающийся тем, что способ атомизации осуществляют в инертной атмосфере.



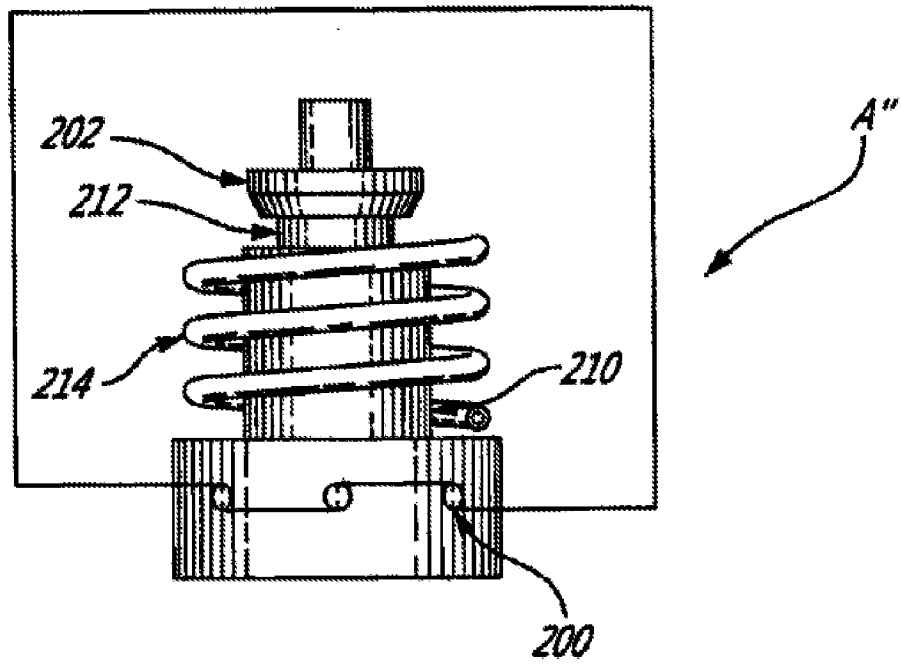
Фиг. 1



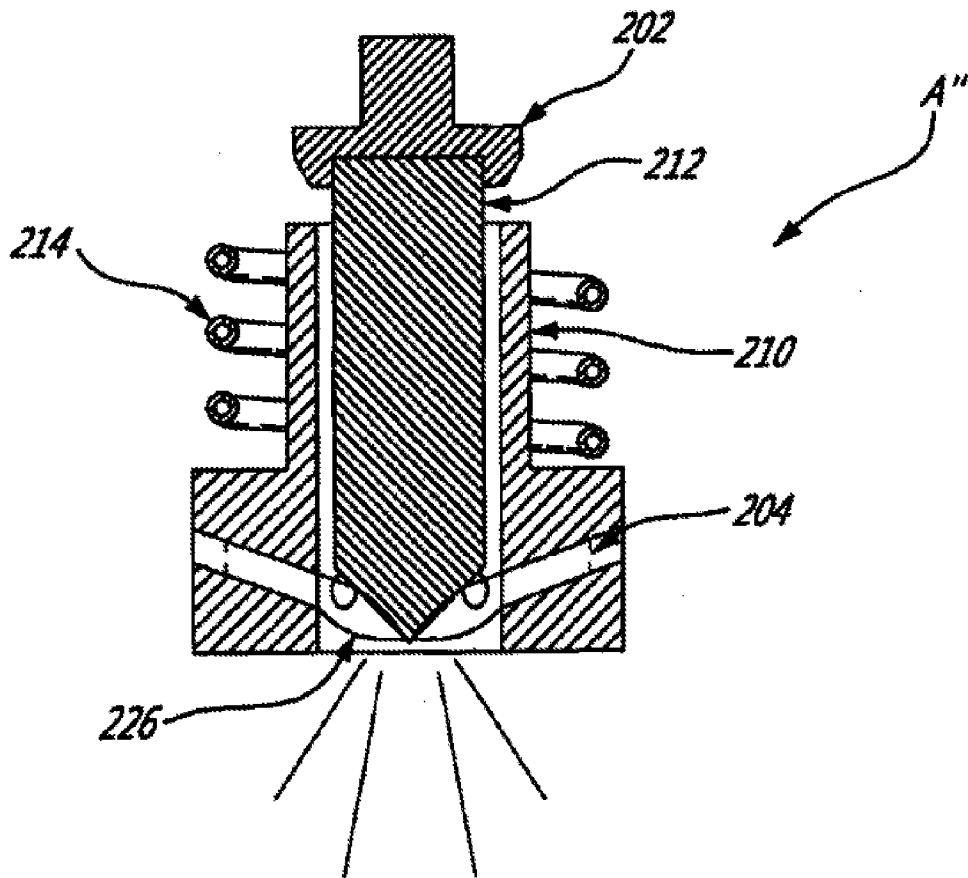
Фиг. 2А



Фиг. 2В



Фиг. 3А



Фиг. 3В