

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202091131 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2020.08.12

(51) Int. Cl. B22F 1/00 (2006.01)
B33Y 70/00 (2015.01)
B22F 3/105 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2018.11.14

(54) СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ
СФЕРИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ ИЗ ГРУБОГО И УГЛОВАТОГО ПОРОШКОВОГО
ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА

(31) 62/585,882

(32) 2017.11.14

(33) US

(86) PCT/CA2018/000225

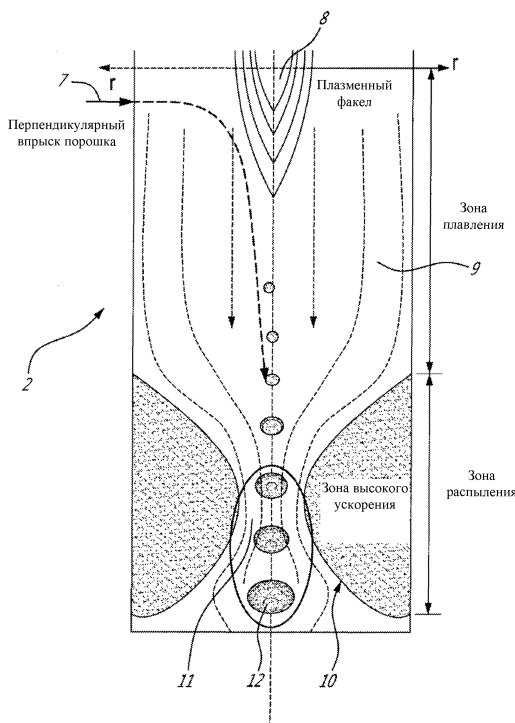
(87) WO 2019/095039 2019.05.23

(71) Заявитель:
ПАЙРОДЖЕНИЗИС КЭНАДА ИНК.
(CA)

(72) Изобретатель:
Дорваль Дион Кристофер Алекс,
Шахверди Али, Пру Франсуа (CA)

(74) Представитель:
Носырева Е.Л. (RU)

(57) Предусмотрен высокотемпературный способ, позволяющий плавить, распылять и сфероидизировать грубый угловатый порошок с получением тонкодисперсного и сферического порошка. В нем используют тепловую плазму для плавления частицы в нагревательной камере и сверхзвуковое сопло для ускорения потока и дробления частиц на более тонкодисперсные.



202091131

A1

A1

202091131

СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ СФЕРИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ ИЗ ГРУБОГО И УГЛОВАТОГО ПОРОШКОВОГО ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА

ПЕРЕКРЕСТНАЯ ССЫЛКА НА РОДСТВЕННЫЕ ЗАЯВКИ

[0001] Эта заявка испрашивает приоритет предварительной заявки на патент США № 62/585 882, в настоящее время находящейся в процессе рассмотрения, поданной 14 ноября 2017 г., которая включена в настоящий документ посредством ссылки.

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

[0002] Объект настоящего изобретения относится к изготовлению сферических порошков, которые могут быть использованы для применений с высокими требованиями в аддитивном производстве, таких как литье под давлением металла и 3D-печать, из доступного и недорогого грубого и угловатого исходного материала. Более конкретно, объект настоящего изобретения относится к способам, позволяющим производить тонкодисперсные сферические порошки посредством плазменной обработки.

ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0003] На рынке существует высокий спрос на порошки, которые являются как тонкодисперсными, так и сферическими. В способах производства таких порошков, как правило, либо используется дорогостоящий исходный материал, такой как проволока, либо, как правило, имеется очень низкий выход в желаемом диапазоне (5–45 микрон).

[0004] Сферические порошки демонстрируют превосходную пригодность для многих применений по сравнению с их угловатыми аналогами, главным образом благодаря их более высокой плотности и лучшей текучести и лучшей устойчивости к истиранию.

[0005] Грубые и угловатые порошки размером 106–150 микрон могут быть легко получены при низких затратах и легко доступны на рынке.

[0006] Способы, позволяющие осуществлять сфероидизацию порошков, уже существуют, но считается, что ни один из современных способов не может как распылять, так и сфероидизировать частицы, чтобы они соответствовали желаемым диапазонам, используемым в аддитивном производстве (например, 5–20, 15–45 и 20–53 микрон). Под термином «распыление» подразумевается уменьшение размера частиц, которое включает механическое дробление расплавленной частицы на две или более капель. Этот термин исключает уменьшение размера из-за изменений только в форм-факторе (например, переход от пористой и угловатой частицы к более плотной и сферической частице, называемой здесь «сфероидизацией») или синтез частицы, которая проходит этап испарения, за которой следует этап возвращения в твердое состояние.

[0007] Способы уменьшения размера частиц путем испарения порошка и его конденсации обратно в твердые тонкодисперсные порошки, например, в случае синтеза наночастиц, существуют, но имеют значительные недостатки. Во-первых, полученный порошок обычно находится в нанометрическом диапазоне, который, как правило, является слишком тонкодисперсным для уровня техники в аддитивном производстве. Во-вторых, для испарения порошка требуется более длительное время выдерживания и более высокая мощность нагрузки, что приводит к низкой производительности и высоким производственным затратам. Наконец, способ испарения применим только для чистых соединений, которые не разлагаются перед испарением, что является чрезвычайно ограничивающим фактором. Это означает, что сплавы не могут быть надежно получены с использованием этого способа, поскольку элементы, присутствующие в смеси, будут испаряться и конденсироваться с различными скоростями. Это также ограничивает количество соединений, которые могут подлежать обработке, так как некоторые соединения разлагаются из-за температуры до достижения температуры кипения.

[0008] Также существуют способы обработки угловатых порошков с получением сферических порошков. Сфероидизация осуществляется путем плавления частицы или по меньшей мере ее поверхности для сглаживания краев, чтобы достичь наиболее стабильного и компактного форм-фактора, который представляет собой сферу. Однако этот способ не меняет существенно размер частиц порошка, если порошковое сырье не является сильно угловатым и пористым. Этот способ не включает дробление частиц.

Это означает, что если стремиться к получению тонкодисперсного порошка в качестве конечного продукта, порошковое сырье, поступающее в процесс сфероидизации, должно уже соответствовать желаемому распределению частиц по размерам. Хотя это может быть осуществимо для химически стабильных соединений, таких как оксидная керамика, для других материалов, таких как металл, это обычно приводит к получению порошков с более высоким содержанием кислорода, чем допустимо для желаемого применения. Причина этого заключается в том, что угловатый порошок обычно проходит процесс механического уменьшения размера, чтобы достичь целевого распределения частиц по размеру, что подразумевает высокий уровень трения, вызывающий, таким образом, значительное повышение температуры. Даже в контролируемой атмосфере металлический порошок, если его измельчить до очень тонкодисперсного размера частиц, может поглощать значительное количество кислорода в процессе. Процесс сфероидизации также вызывает поглощение кислорода, что означает, что общее количество поглощенного кислорода может превышать максимальный допуск, определенный стандартом.

[0009] Кроме того, предшествующие способы сфероидизации часто включают использование источника индуктивно связанной плазмы, для которого требуется высокочастотный индукционный источник питания, который является очень специфичным и редко доступен в продаже.

[0010] Интересно также отметить, что в настоящее время считается, что плазменное распыление является процессом, который производит самые сферические и плотные порошки, доступные на рынке. Эта технология также дает узкий диапазон размеров частиц в более тонкодисперсном диапазоне, что очень желательно для области аддитивного производства. Одним из основных ограничений этой технологии является то, что в ней обычно возможно обрабатывать только проволоку в качестве сырья. Это является существенным ограничением, учитывая, что некоторые ценные востребованные материалы, такие как алюминид титана (TiAl), карбиды и керамика, трудно получить в виде проволоки из-за их механических свойств, но они легко доступны в виде порошка. Считается, что в настоящее время не существует процесса плазменного распыления с использованием порошка в качестве исходного сырья.

[0011] При газовом распылении обычно используют расплавленные слитки для распыления. Однако эта технология также имеет несколько ограничений. Во-первых,

она приводит к получению частиц, которые имеют пористость из-за захвата газа. Вторых, и что наиболее важно, распределение частиц по размерам обычно имеет широкий диапазон. Важно отметить, что газовое распыление в настоящее время не может использоваться для переработки грубых порошков.

[0012] Грубые порошки (например, 106 микрон и более), сферические или нет, являются типичными побочными продуктами большинства технологий распыления и имеют очень низкую ценность на рынке по сравнению с более тонкодисперсными фракциями. Было бы экономически выгодно использовать этот источник порошка в качестве исходного сырья в процессе, при котором возможно повторно распылять этот порошок с получением более тонкодисперсных частиц и, следовательно, увеличивать его ценность. Кроме того, если это порошковое сырье оказывается угловатым или имеет высокую пористость, дополнительное преимущество сфероидизации в том же процессе действительно дополнительно увеличит его ценность.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0013] Поэтому было бы желательно предоставить способ, который позволяет получать сферические, высокоплотные, тонкодисперсные порошки из полученного механическим путем угловатого грубого порошкового сырья.

[0014] Также было бы желательно иметь недорогой способ, в котором бы использовался широко доступный и надежный коммерческий источник питания для плазменной резки постоянного тока и плазменная горелка постоянного тока, а не нестандартные, дорогостоящие высокочастотные индукционные источники питания и горелки на основе индуктивно связанной плазмы (ICP).

[0015] Варианты осуществления, описанные в данном документе, обеспечивают в одном аспекте способ сфероидизации и/или распыления частиц, которые являются грубыми и/или угловатыми, с получением сферических и тонкодисперсных частиц, включающий: источник нагрева, нагревательную камеру, сверхзвуковое сопло и систему разделения газа и твердого вещества для сбора порошка из газового потока.

[0016] Кроме того, варианты осуществления, описанные в данном документе, предоставляют в другом аспекте устройство для сфероидизации и/или распыления частиц, которые являются грубыми и/или угловатыми, с получением сферических и

тонкодисперсных частиц, содержащее: источник нагрева, нагревательную камеру, сверхзвуковое сопло и систему разделения газа и твердого вещества для сбора порошка из газового потока.

[0017] Дополнительно, описанные в настоящем документе варианты осуществления в другом аспекте предоставляют способ сфероидизации и/или распыления частиц сырья, которые являются грубыми и/или угловатыми, с получением сферических и тонкодисперсных частиц, включающий: а) нагревание частиц сырья, б) пропускание частиц через сверхзвуковое сопло и в) сбор из газового потока полученного таким образом порошка, например, с помощью системы разделения газа и твердого вещества.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

[0018] 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:

[0019] на фиг. 1 представлен схематический вид спереди устройства для получения тонкодисперсных сферических порошков из грубого и угловатого порошкового исходного материала в соответствии с примерным вариантом осуществления;

[0020] на фиг. 2 изображено схематическое представление зоны плавления и секции распыления устройства по фиг. 1 в соответствии с примерным вариантом осуществления;

[0021] на фиг. 3 изображен схематический вид в поперечном сечении, показывающий пример сужающегося-расширяющегося сопла (например, сопла Лаваля) устройства по фиг. 1 в соответствии с примерным вариантом осуществления;

[0022] на фиг. 4А и 4В представлены изображения сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) порошка соответственно до и после обработки в устройстве, показанном на фиг. 1, в соответствии с примерным вариантом осуществления;

[0023] на фиг. 5 показано другое СЭМ-изображение того же образца порошка, показанного на фиг. 4В, но с большим увеличением;

[0024] на фиг. 6А и 6В показано распределение частиц по размерам (PSD) при лазерной дифракции для одного и того же образца соответственно до и после обработки и в соответствии с теми же образцами, показанными на фиг. 4А и 4В, и в том же порядке согласно примерному варианту осуществления; а также

[0025] на фиг. 7А, 7В и 7С изображены варианты нагревательной камеры с соплом Лавалья в соответствии с примерным вариантом осуществления.

ОПИСАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

[0026] Объект настоящего изобретения направлен на высокотемпературный способ (и устройство), позволяющий плавить, распылять и сфероидизировать грубый угловатый порошок с получением тонкодисперсного и сферического порошка. Он может быть описан как процесс плазменного распыления с использованием порошкового сырья или как технология сфероидизации порошка, которая включает в себя функцию дробления частиц.

[0027] Этот объект изобретения может обеспечить уменьшение размера частиц посредством как распыления, так и сфероидизации, но не включает испарение (или, по меньшей мере, не рассматривает его как значительный вклад в уменьшение размера).

[0028] Пользователи газовых распылителей выиграют от технологии повторного распыления порошка, которая преобразует грубые порошки, полученные по этой технологии, в тонкодисперсные порошки, пригодные для аддитивного производства.

[0029] При этом грубый угловатый порошок подают в плазменный реактор, где он будет находиться в контакте с плазменной струей в течение достаточно длительного периода времени, чтобы достичь точки плавления и расплавиться, по меньшей мере, частично. Таким образом, длина камеры зависит от желаемой скорости подачи и выбранного материала. Расплавленные жидкие частицы затем вводят в сопло Лавалья, где плазма или горячий газ будут ускоряться до сверхзвуковых скоростей на очень коротком расстоянии (порядка дюйма). Из-за огромной разницы скоростей между расплавленной каплей и потоком плазмы или горячего газа капля подвергается действию сдвигающего усилия до тех пор, пока не достигнет своей точки дробления. В этой точке капля распадается на две или более тонкодисперсных частиц. По мере того как капли выбрасываются из сопла Лавалья в охлаждающую камеру, капли могут

достигать форм-фактора, минимизирующего поверхностную энергию, который представляет собой сферу, и снова охлаждаться до твердого состояния.

[0030] Горячая зона перед соплом Лавалья спроектирована так, чтобы обеспечить достаточно высокую температуру и время выдерживания, чтобы не только довести частицу до точки их плавления, но и расплавить ее.

[0031] Сопло Лавалья должно быть тщательно спроектировано так, чтобы достигать правильной комбинации температуры и скорости в горловине и в струе, выходящей из сопла, для определенного набора производственных параметров, таких как расход газа и мощность горелки. Сопло используется для преобразования тепловой энергии в кинетическую энергию. Оно должно быть рассчитано на то, чтобы его ускорение было достаточным для дробления частиц при поддержании температуры выше точки плавления распыляемого материала.

[0032] Выпуск сопла Лавалья может содержать диффузор, который по существу противоположен тому, что делает сопло Лавалья, в том смысле, что он приводит к резкому замедлению газа и частицы, резко повышая температуру почти до той, что была перед соплом Лавалья. Диффузор также будет иметь эффект повышения температуры частиц, что может помочь удерживать каплю выше ее точки плавления после ускорения, описанного выше, и, следовательно, избежать образования сталактитов на выходе из сопла.

[0033] Конструкция сопла Лавалья и его диффузора влияет на размер и распределение производимого порошка, а также на максимальную загрузку частиц, которые могут быть обработаны.

[0034] После сопла во время охлаждения в зоне охлаждения распыленные капли должны достичь своей идеальной формы (сферы) до достижения температуры затвердевания. Как только идеальный форм-фактор достигнут, частица может остыть до твердого состояния. Этот этап можно проводить в охлаждающей камере, которая может состоять, например, из цилиндра большего диаметра с рубашкой водяного охлаждения.

[0035] Охлаждающая камера должна обеспечивать достаточно длительное время выдерживания, чтобы частицы имели по меньшей мере достаточно толстую

затвердевшую оболочку (если не полностью затвердели) для их защиты от изменения формы, прежде чем они войдут в контакт с другими твердыми материалами во время последующих этапов процесса. Размеры охлаждающей камеры определяются производственными требованиями, такими как выбранное сырье, желаемая скорость подачи и скорость потока плазменной горелки. Такими твердыми материалами могут быть реактор и стенки трубопровода или другие частицы.

[0036] На этой стадии частицы могут быть либо собраны в нижней части устройства, либо пневматически транспортированы в обычное устройство для сбора порошка, такое как, кроме прочего, циклон, фильтр или камера отстаивания. Предпочтительно частицы должны быть собраны достаточно холодными, чтобы уменьшить окисление, прежде чем они вступят в контакт с окружающим воздухом.

[0037] После того, как порошки собраны и отделены от газового потока, газовый поток может быть отфильтрован, чтобы гарантировать, что порошок не поступает в выпускную трубу.

[0038] Согласно прилагаемым графическим материалам на фиг. 1 изображено схематическое представление устройства А в соответствии с настоящим объектом изобретения. Устройство А содержит плазменную горелку 1, нагревательную камеру с соплом Лавалья 2, охлаждающую камеру 3, передающую трубку 4, в которой порошок пневматически подают в камеру 5 отстаивания, и, наконец, пористый металлический фильтр 6. Это только пример различных возможных вариантов осуществления.

[0039] На фиг. 2 концептуально показано, как работает основной элемент 2 настоящего изобретения. Эта секция является концептуальным представлением сопла Лавалья на фиг. 1. В этом примере исходный материал для порошка подают на участке 7 перпендикулярно плазменной струе 8 (хотя он мог бы подаваться прямооток, противотоком или под углом). Когда частица попадает в зону 9 нагрева, она достигает точки плавления и начинает плавиться. После расплавления, когда горячий газ или плазма ускоряются, частица начинает деформироваться, принимая форму тонкого диска. Далее, когда частица достигает горловины 11 сопла Лавалья 10, частица разлетается на несколько более тонкодисперсных частиц. Выходящий поток 12 представляет собой смесь горячего газа и тонкодисперсных частиц, которая поступает в охлаждающую камеру 3.

[0040] На фиг. 3 показан один пример пригодной конструкции сопла. В этом примере сопло 13 содержит сверху вниз: сужающуюся секцию 14, где должна ускоряться текучая среда, горловину 15, где текучая среда должна достигать скорости звука (число Маха = 1), расширяющуюся секцию 16, где жидкость превышает скорость звука (число Маха >1), и, наконец, диффузор 17, где кинетическая энергия преобразуется в тепловую энергию для повышения температуры перед выходом (число Маха < 1). Более упрощенным примером было бы классическое сужающееся-расширяющееся сопло Лавала, которое использовалась для большинства экспериментов по настоящему объекту изобретения.

[0041] На фиг. 4А и 4В представлены изображения сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) порошка до и после обработки посредством варианта осуществления, показанного на фиг. 1, соответственно. На фиг. 4А видно, что порошок состоит исключительно из угловатого и пористого порошка. На фиг. 4В после обработки, хотя и не всего порошка, значительное количество порошка является сферическим. Оба изображения были сделаны с одинаковым увеличением (X 100) и, следовательно, могут быть использованы для сравнения. Для опытного глаза визуально заметно, что частицы, в целом, меньше на фиг. 4В, чем на фиг. 4А.

[0042] На фиг. 5 показано другое СЭМ-изображение того же образца порошка, что и на фиг. 4В, но с большим увеличением (X 500). Исходя из этой фигуры, специалист в данной области может оценить, что: 1) порошок, который был сфероидизирован, имеет очень высокую степень сферичности; 2) содержание «сателлитов» (ультратонкодисперсных частиц, сваренных на более крупных частицах) очень низкое, и 3) порошок, который не подвергался сфероидизации, имеет по меньшей мере несколько смягченные края, что, тем не менее, может способствовать сыпучести.

[0043] На фиг. 6А и 6В показано распределение частиц по размерам (PSD) при лазерной дифракции также для одного и того же образца соответственно до и после обработки и в соответствии с теми же образцами, показанными на фиг. 4А и 4В, и в том же порядке. Значительный сдвиг размера частиц в сторону более тонкодисперсного заметен между фиг. 6А и 6В. Медианный размер частиц (D50) на фиг. 6В меньше на 12 микрон, чем на фиг. 6А, что является весьма значительным, учитывая, что расплавлена только часть порошка. По сравнению с тем, что можно найти в литературе, этот сдвиг частиц является слишком значительным, чтобы его можно было отнести только к

сфероидизации, что указывает на то, что действительно дробление частиц имело место, по меньшей мере частично.

[0044] На фиг. 7А, 7В и 7С показаны некоторые варианты, которые были экспериментально опробованы в нагревательной камере с соплом Лавалья, которое соответствуют позиции 2 на фиг. 1. На фиг. 7А показана нагревательная камера с соплом Лавалья 2', представляющая собой графитовую камеру в форме колбы, куда порошок подают противотоком под углом 45 градусов. На фиг. 7В показана нагревательная камера с соплом Лавалья 2', причем камера удлинена, а порошок подают перпендикулярно плазменной струе. На фиг. 7С показана нагревательная камера с соплом Лавалья 2'', которая содержит индукционную катушку 18 в конфигурации, показанной на фиг. 7В, для повышения температуры стенки и, следовательно, уменьшения тепловых потерь. Хотя все три конфигурации работали до определенной степени, результаты, представленные здесь, были получены с конфигурацией, показанной на фиг. 7А.

[0045] Следовательно, объект настоящего изобретения как способ включает в себя следующие элементы: источник нагрева, такой как источник плазмы, нагревательную камеру, ускоряющее (например, сверхзвуковое) сопло, охлаждающую камеру и систему сбора порошка. Все эти элементы дополнительно описаны ниже.

[0046] Отмечено, что источником плазмы является плазменная горелка постоянного тока с обратной полярностью или с прямой полярностью. Однако может работать любой другой источник тепловой плазмы, в том числе дуга переменного тока или индуктивно связанное радиоизлучение. Экспериментальные результаты, представленные здесь, были получены с использованием плазменной горелки с обратной полярностью, которая была выбрана из-за ее плазменного факела с высокой энтальпией, но она могла быть заменена другими моделями плазменной горелки. Были также испытаны плазменные горелки постоянного тока с прямой полярностью, которые дали похожие результаты. Плазменные горелки подходят для этого применения из-за их высокой температуры факела и потока нереакционноспособного газа. Для материалов с более низкой температурой плавления и для материалов, в которых химическое загрязнение не является проблемой, можно использовать более доступные средства нагрева, такие как обычные газовые горелки.

[0047] Что касается нагревательной камеры, она изготовлена из графита или другого высокотемпературного материала и имеет цилиндрическую форму или форму колбы, как показано на фиг. 7А. Графит является недорогим и общедоступным материалом, который может выдерживать очень высокие температуры. Графит может быть легко обработан с использованием традиционных методов и оборудования, что делает его предпочтительным материалом для высокотемпературных процессов. Для более надежных и постоянных установок, например в контексте промышленного производства высококачественных материалов, твердые материалы и материалы с высокой температурой плавления, такие как карбиды и огнеупорные материалы, являются более подходящими для этого применения. Следует отметить, что стенки горячей зоны и сопла Лавала должны быть всегда горячей температуры плавления обрабатываемого материала.

[0048] В нижней части нагревательной камеры предусмотрено ускоряющее сопло. В проиллюстрированном варианте осуществления это сопло является либо классическим сужающимся-расширяющимся соплом Лавала 10, либо более сложной конструкцией 13 сопла, как показано на фиг. 3. Однако ускорение до сверхзвуковых скоростей может быть достигнуто с помощью других конструкций сопел, таких как конфигурация сопла с центральной иглой и дожиганием в подводимом воздухе. Сверхзвуковое сопло сконструировано таким образом, чтобы преобразовывать тепловую энергию в кинетическую энергию на очень коротком расстоянии, сохраняя температуру текучей среды выше точки плавления обрабатываемого материала. Именно внезапное ускорение плазменного газа приводит к большой разнице скоростей частицы, что вызывает дробление частицы. Поскольку сопло Лавала преобразует тепло в скорость, в результате процесса охлаждается газ, вследствие чего может потребоваться добавить источник тепла на выходе из сопла. Разность скоростей между каплями и потоком плазмы, необходимую для дробления, можно оценить, используя число Вебера. При числах Вебера больше 14 капля, скорее всего, будет распыляться на более мелкие капли. Разница в скорости между частицей и плазмой может быть оценена с использованием гидродинамических методов моделирования.

[0049] Охлаждающая камера обычно представляет собой простой реактор с двойной рубашкой водяного охлаждения; однако многие другие конфигурации будут работать так же хорошо. Источник охлаждения не так критичен, если охлаждение достаточно

эффективно, чтобы охладить частицы ниже их точки замерзания, прежде чем они ударятся о твердую стенку. Требуемая длина охлаждающей камеры зависит от перегрева частицы, ее теплоты плавления, а также от нагрузки частицы. Диаметр камеры будет влиять на скорость потока, а также на качество теплообмена, что также влияет на требуемую длину охлаждающей камеры.

[0050] Система сбора порошка может быть применена многими способами на практике. Основная цель состоит в том, чтобы отделить порошок от газового потока для непрерывного или полунепрерывного сбора порошка при непрерывном выталкивании газа. В варианте осуществления, который был испытан экспериментально, камера отстаивания и пористый металлический фильтр использовались для сбора порошка и очистки потока газа. Более распространенный и проверенный способ заключается в предоставлении высокоэффективного циклона, за которым следует воздушный фильтр тонкой очистки (HEPA) или мокрый газоочиститель. Сбор порошка необходим, хотя средства для его достижения в данном контексте не являются критическими. Например, на фиг. 1 представлен пористый металлический фильтр 6 в качестве фильтрующего элемента, который может быть изготовлен из пористой керамики, пористых металлов или посредством обычного HEPA фильтра, если фильтрующий материал может выдерживать температуру выходящего потока.

[0051] Хотя это не показано на фиг. 1, порошковое сырье подают в устройство с использованием порошкового питателя. Порошковый питатель, как правило, является промышленным, используемым в области термического распыления. Существует несколько типов, и у каждого из них есть свои преимущества, недостатки и ограничения.

[0052] Возможные варианты способов

[0053] Частицы могут подаваться противотоком или под любым углом. Противоточная подача порошка, хотя и является более сложной для достижения, будет иметь преимущество в увеличении скорости теплопередачи и, следовательно, в значительной степени уменьшит время выдерживания, необходимое для плавления частицы. Это приводит к уменьшению требуемой минимальной длины горячей зоны.

[0054] Хотя объект настоящего изобретения нацелен на грубые и угловатые порошки, его также можно использовать для дробления грубых не угловатых (сферических) порошков с получением тонкодисперсных сферических частиц.

[0055] Хотя в данном примере в качестве источника тепла используется плазма, источник тепла может быть заменен другими типами нагрева, такими как микроволновое, индукционное и тому подобное, при условии, что обеспечивается достаточная тепловая мощность.

[0056] Объект настоящего изобретения был впервые разработан с использованием порошков титанового сплава; однако это может относиться к любому материалу, температура плавления которого достигается с помощью нагревания.

[0057] Настоящее изобретение также может быть использовано для получения наночастиц. Для этого может потребоваться еще большее ускорение. Это было бы выгодно, поскольку наночастицы сплава могли бы быть получены таким образом, тогда как получение наночастиц невозможно с помощью способа испарения.

[0058] Хотя настоящее изобретение не предназначено для этого, его также можно использовать для очистки порошков от их органического загрязнителя, так как высокая температура плазмы разлагает большинство нежелательных органических соединений.

[0059] Добавляя восстановитель, такой как водород, в плазменный газ, можно не только обрабатывать материал с минимальным поглощением кислорода, но потенциально также снижать уровень кислорода в обрабатываемом материале. Некоторые материалы с большей вероятностью выигрывают от этого эффекта, чем другие, например железо.

ОДИН ПРИМЕР ЦЕЛЕВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

[0060] В текущем примере был испытан вариант осуществления, показанный на фиг. 1, с использованием конфигурации зоны нагрева, показанной на фиг. 7А, длиной 4 дюйма. В качестве порошкового питателя использовали промышленный порошковый питатель Mark XV, в котором для подачи порошка в устройство используется вращающийся шнек подачи и газ-носитель. Порошок из угловатого сплава Ti-6Al-4V подавали со скоростью 0,65 кг/ч, хотя в других экспериментах скорость подачи достигала 1 кг/ч с относительно похожими результатами.

[0061] Источником плазмы была плазменная горелка постоянного тока с обратной полярностью для более высокого напряжения, работающая при 50 кВт. Плазменный газ был аргоном, который подавали со скоростью 230 ст. л/мин.

[0062] Внешний вид порошкового сырья показан на фиг. 4А, а распределение частиц по размерам показано на фиг. 6А.

[0063] Внешний вид порошка после обработки показан на фиг. 4В и фиг. 5, в то время как распределение частиц по размерам показано на фиг. 6В.

[0064] В других примерах, использующих общий вариант осуществления по фиг. 1, но с отличающимися конфигурациями зон нагрева, изучали поглощение кислорода. В таблице 1 приведено содержание кислорода в порошке до и после обработки для трех различных испытаний. Хотя это не обязательно относится к делу, необходимо упомянуть, что испытание Т-09 было проведено с использованием конфигурации, показанной на фиг. 7В, а другие были проведены с использованием конфигурации, показанной на фиг. 7С. Исходя из результатов, можно сделать вывод, что технически возможно обработать порошок с поглощением кислорода менее 300 частей на миллион.

Таблица 1 – поглощение кислорода в ходе обработки для 3 испытаний

Испытание	Поглощение O ₂ (частей на миллион)
Т-09	279
Т-12	288
Т-15	233

[0065] 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 международной заявки на патент № WO 2016/191854 A1 от 8 декабря 2016 г.
- [3] «Method for Cost-Effective Production of Ultrafine Spherical Powders at Large Scale Using Plasma-Thrust Pulverization», не опубликовано.
- [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», патент США № 9718131 B2 от 1 августа 2017 г.
- [5] Maher I. Boulos, Jerzy Jurewicz Jiayin Guo, Xiaobao Fan and Nicolas Dignard, «Plasma Synthesis of Nanopowders», публикация заявки на патент США № US 2007/0221635 A1 от 27 сентября 2007 г.
- [6] Maher I. Boulos, Christine Nessim, Christian Normand and Jerzy Jurewicz, «Process for the Synthesis, Separation and Purification of Powder Materials», патент США № 7572315 B2 от 11 августа 2009 г.

Формула изобретения

1. Способ сфероидизации и/или распыления частиц, которые являются грубыми и/или угловатыми, с получением сферических и тонкодисперсных частиц.
2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что включает:

источник нагрева;

нагревательную камеру;

сверхзвуковое сопло; и

систему разделения газа и твердого вещества для сбора порошка из газового потока.
3. Способ по любому из пп. 1 и 2, отличающийся тем, что источник нагрева содержит плазменную горелку.
4. Способ по любому из пп. 1, 2 и 3, отличающийся тем, что источник нагрева представляет собой одну или более дуговых плазменных горелок постоянного или переменного тока, или их комбинацию.
5. Способ по любому из пп. 1–4, отличающийся тем, что порошковое сырье подают в нагревательную камеру с любым углом впрыска.
6. Способ по любому из пп. 1–5, отличающийся тем, что обрабатываемый порошок собирают непрерывно или полунепрерывно на стадии разделения газа и твердого вещества.
7. Способ по любому из пп. 1–5, отличающийся тем, что во избежание дальнейшего окисления материала подают инертный газ.
8. Способ по любому из пп. 1–5, отличающийся тем, что для восстановления окислительного слоя материала подают восстановительный газ.
9. Способ по любому из пп. 1–5, отличающийся тем, что для добавления слоя окисления к материалу подают окисляющий газ.

10. Способ по любому из пп. 1–5, отличающийся тем, что для модификации поверхности или химического состава обрабатываемого материала используют любую комбинацию газов, упомянутых в пп. 6–8.

11. Способ по любому из пп. 1 и 2, отличающийся тем, что сверхзвуковое сопло представляет собой сужающееся-расширяющееся сопло Лавалья, приспособленное для достижения числа Маха, равного 1, в его горловине.

12. Способ по п. 10, отличающийся тем, что сопло также имеет на своем конце диффузор для повторного повышения температуры выходящей струи и замедления частицы перед ее поступлением в охлаждающую камеру.

13. Способ по любому из пп. 1 и 2, отличающийся тем, что конструкция сверхзвукового сопла представляет собой одно из сопла Лавалья и сопла с центральной иглой и дожиганием в подводимом воздухе.

14. Способ по п. 1, отличающийся тем, что примеси, такие как органические вещества (твердая смазка, масло, жир, бумага, резина и пластмасса, и т. д.), и/или влага могут быть удалены из порошкового сырья вследствие химического разложения и испарения при высокой температуре.

15. Способ сфероидизации и/или распыления частиц сырья, которые являются грубыми и/или угловатыми, с получением сферических и тонкодисперсных частиц, включающий: а) нагревание частиц сырья, б) пропускание частиц через сверхзвуковое сопло и в) сбор из газового потока полученного таким образом порошка, например, с помощью системы разделения газа и твердого вещества.

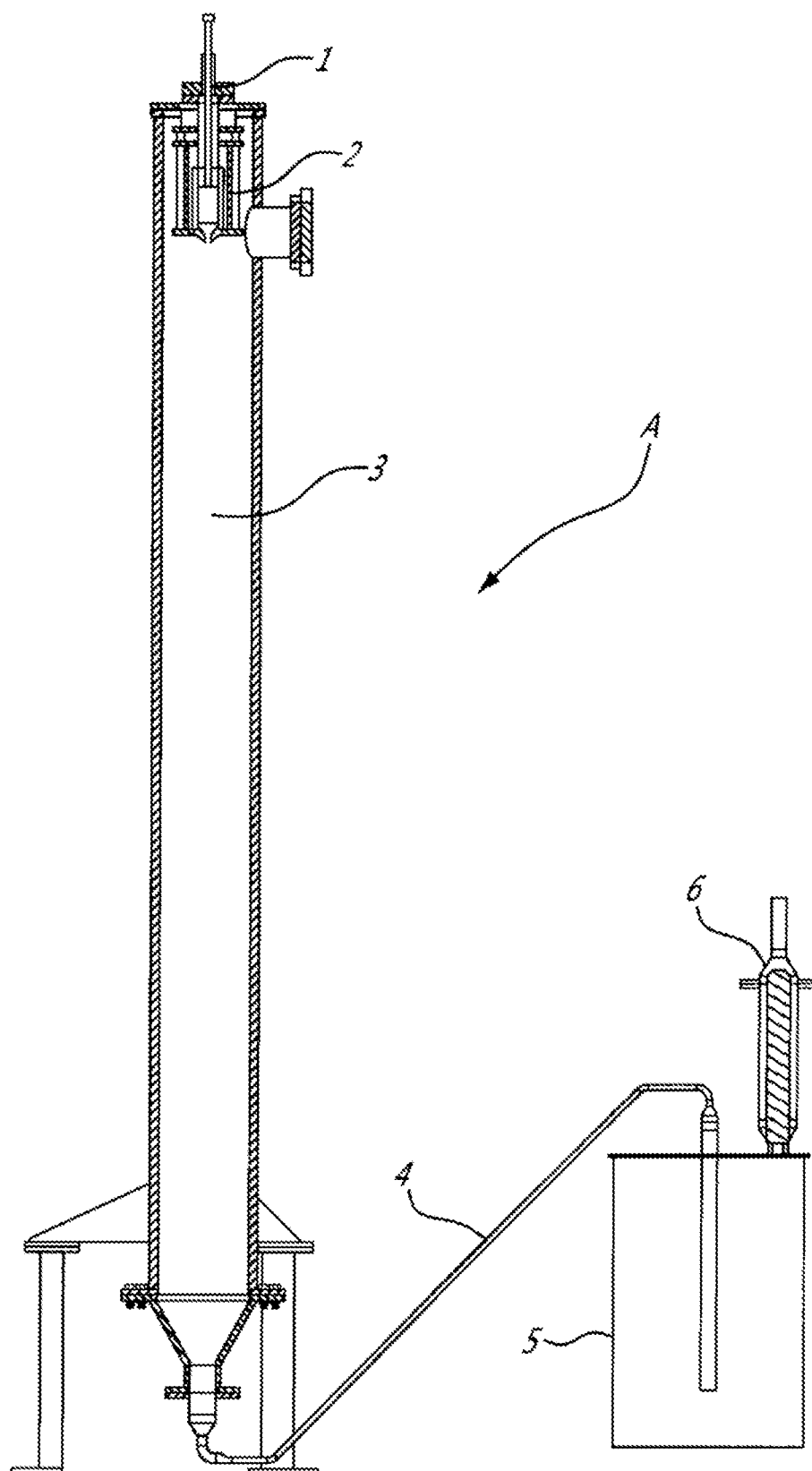
16. Устройство для сфероидизации и/или распыления частиц, которые являются грубыми и/или угловатыми, с получением сферических и тонкодисперсных частиц, содержащее:

источник нагрева;

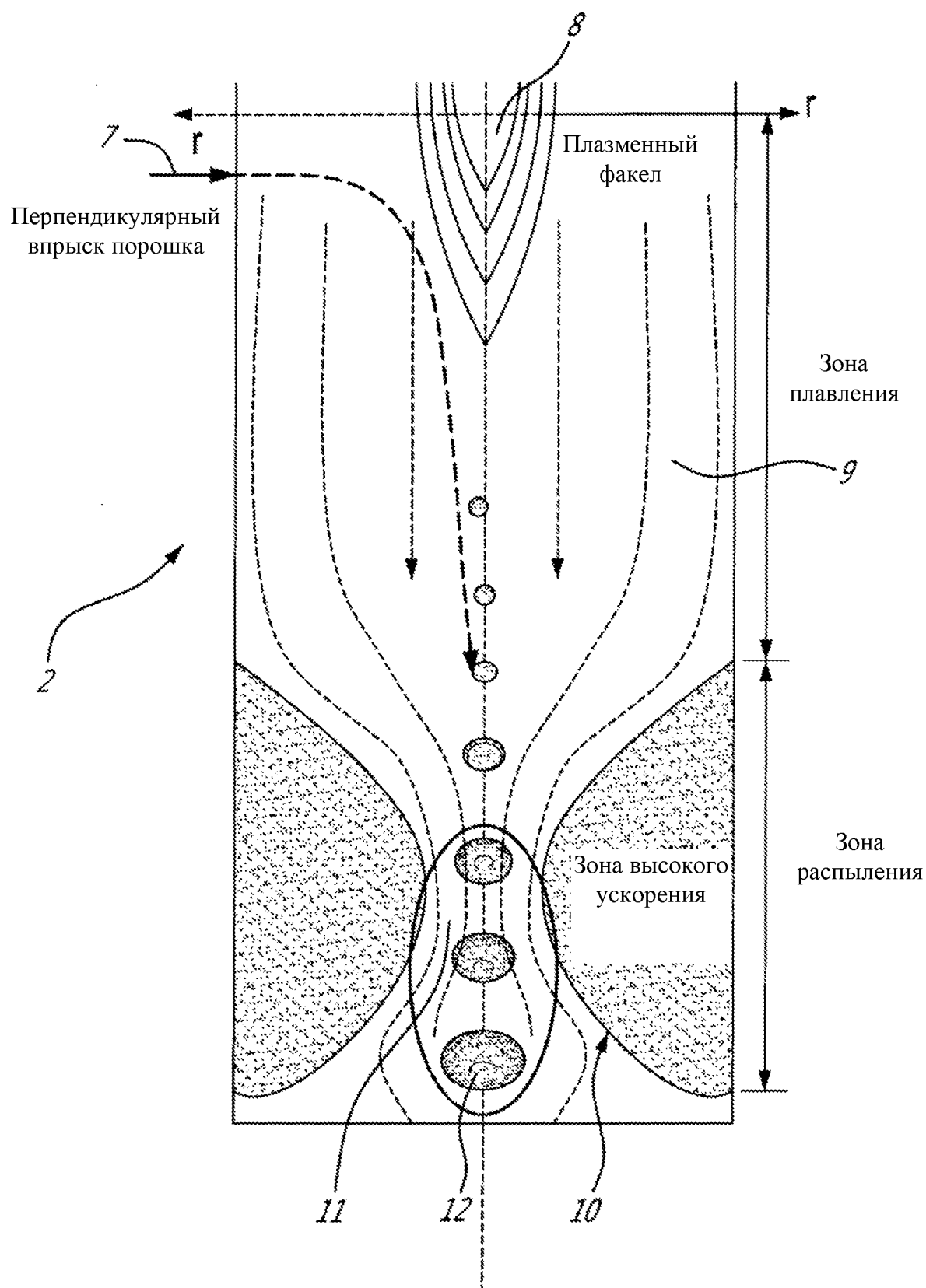
нагревательную камеру для плавления частиц сырья;

сверхзвуковое сопло; и

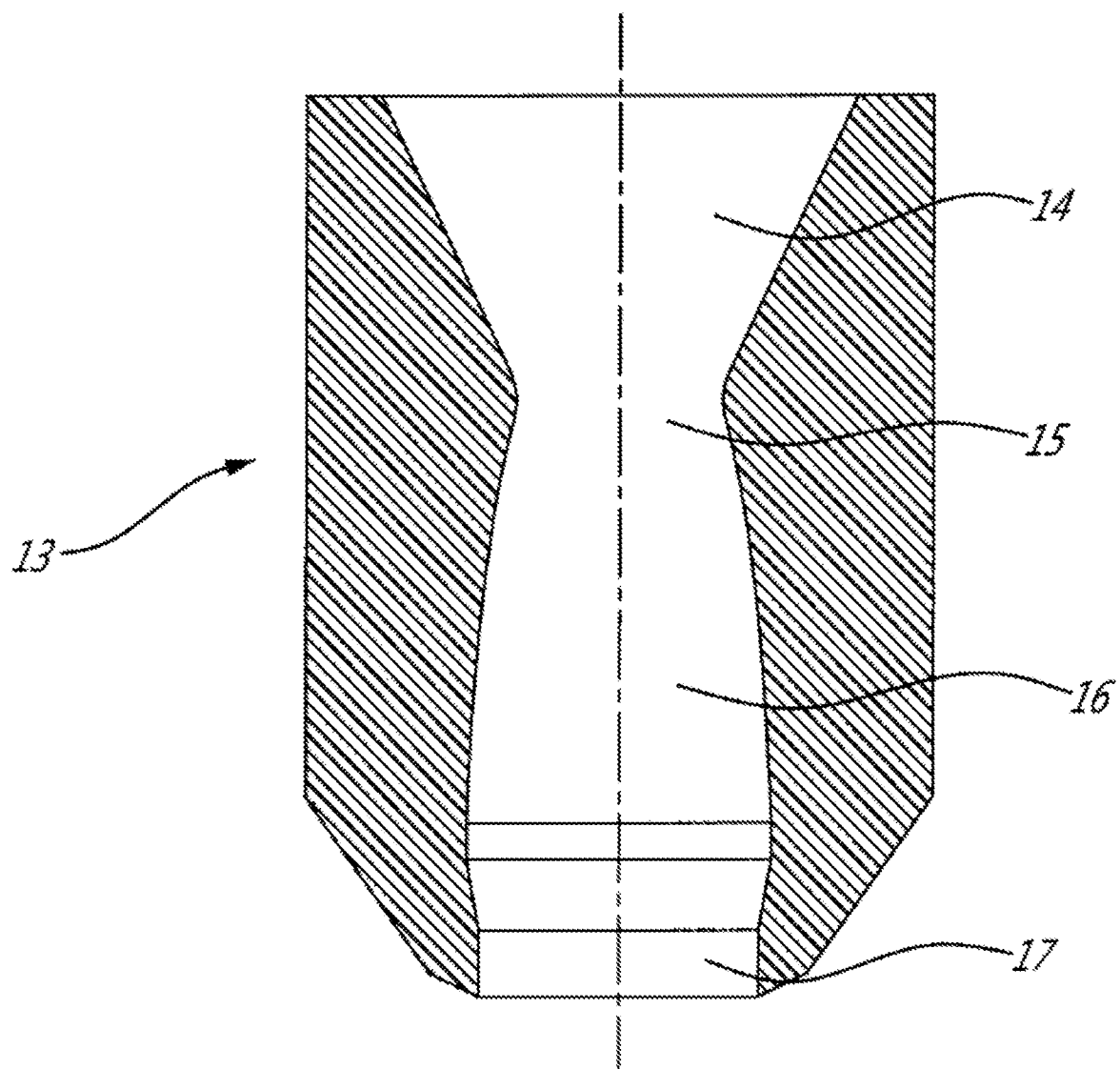
систему разделения газа и твердого вещества для сбора порошка из газового потока, выходящего из сверхзвукового сопла.



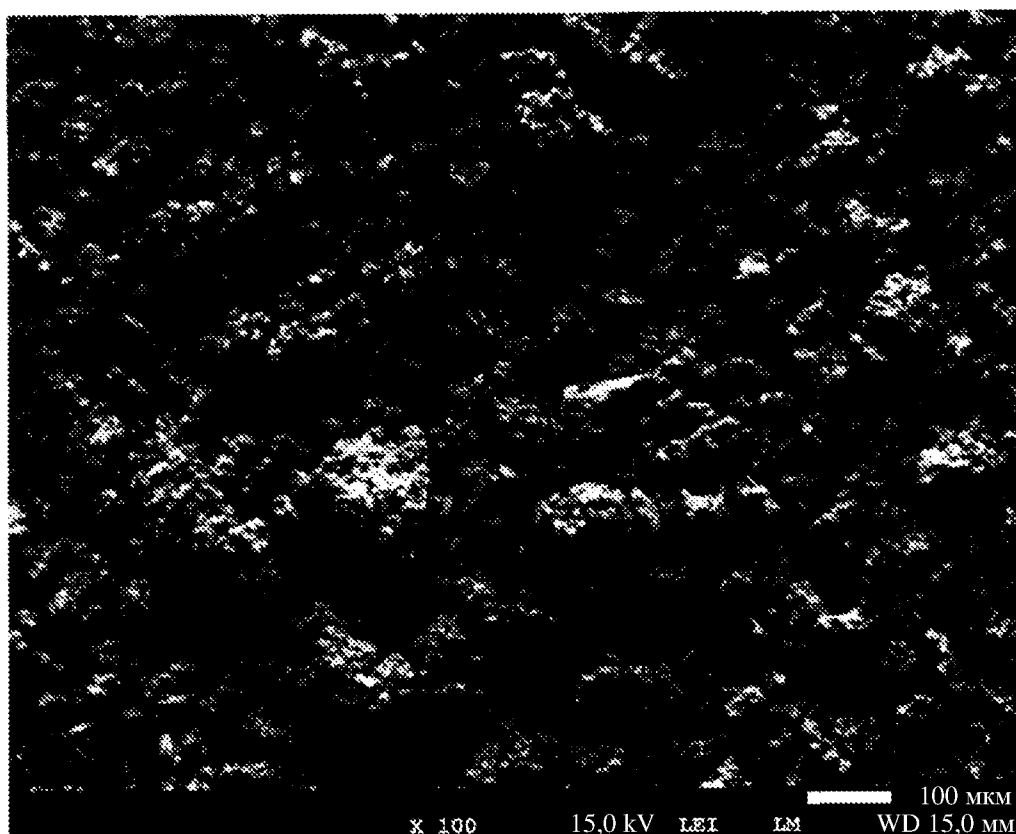
Фиг. 1



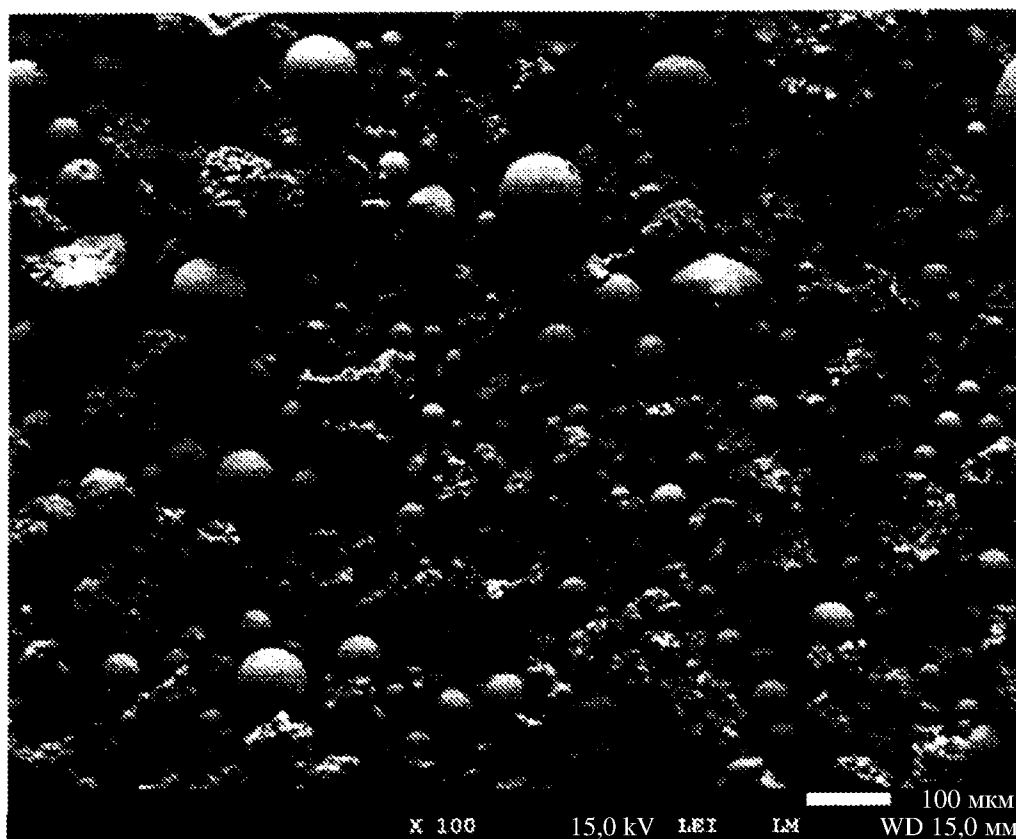
Фиг. 2



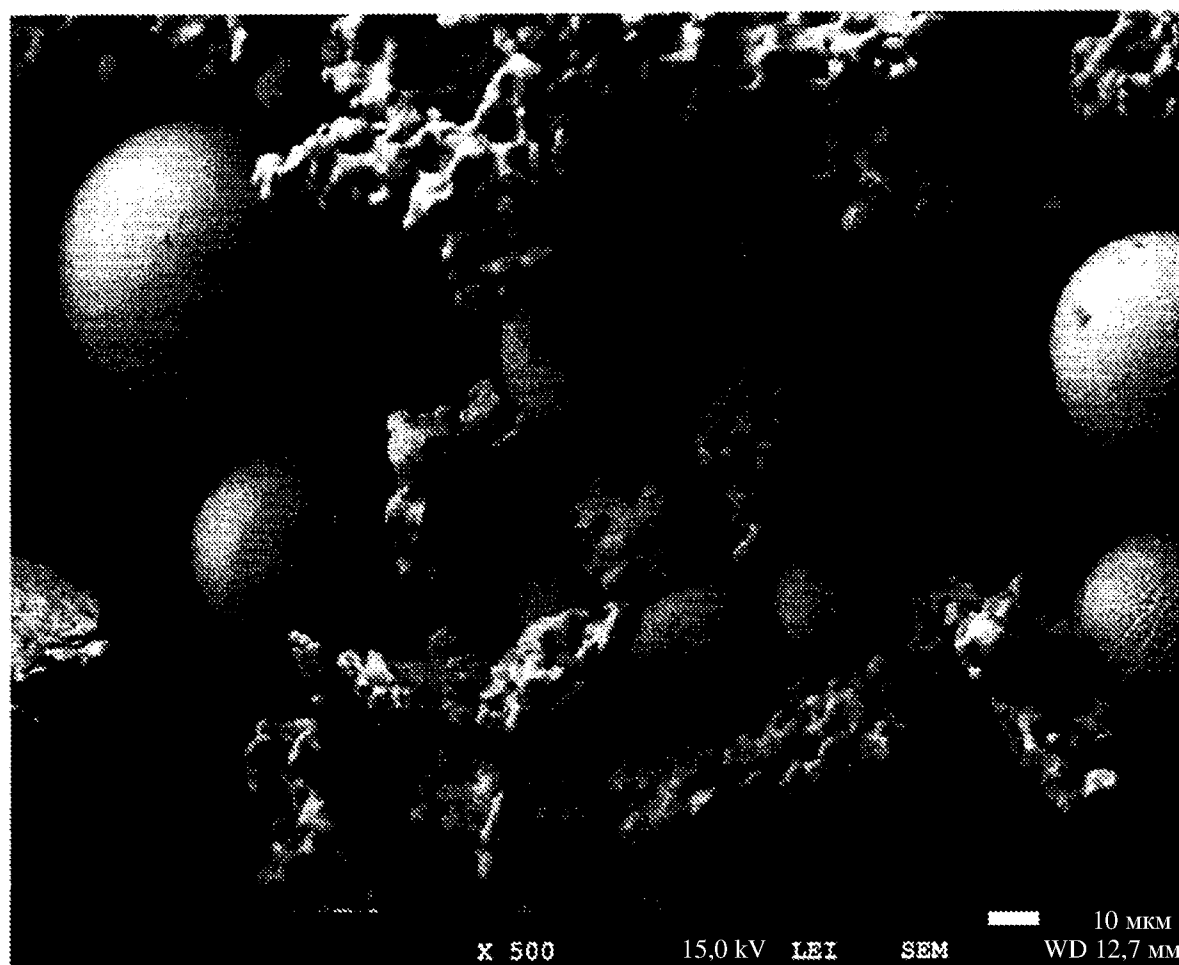
Фиг. 3



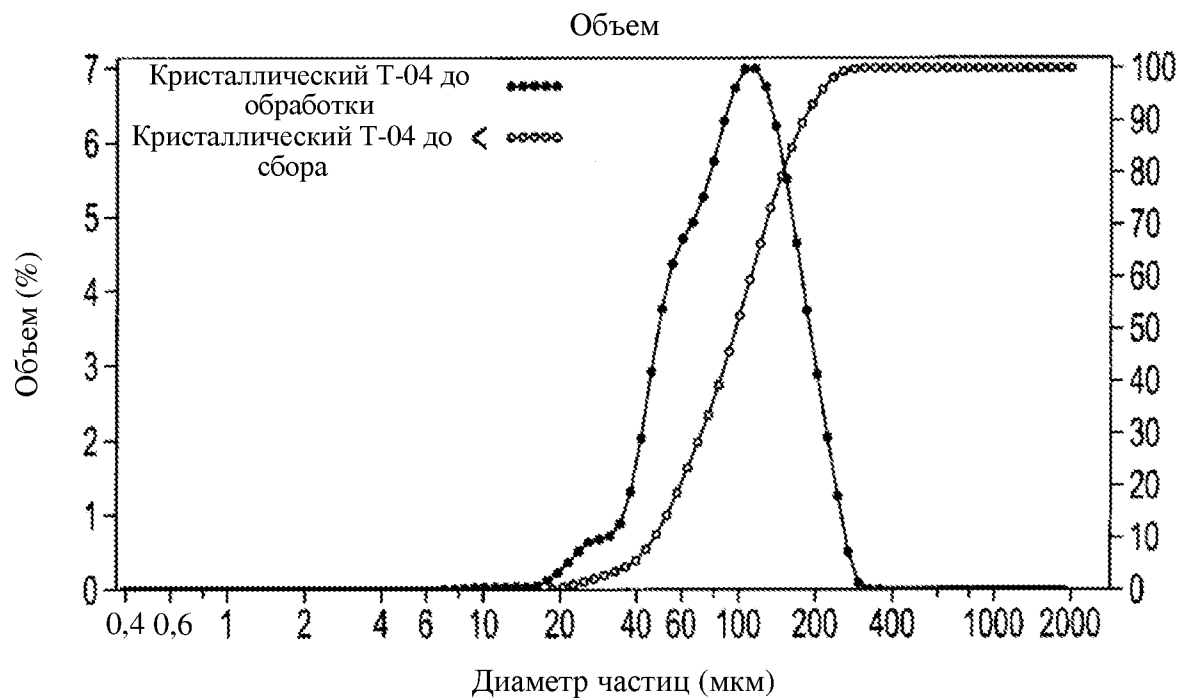
Фиг. 4А



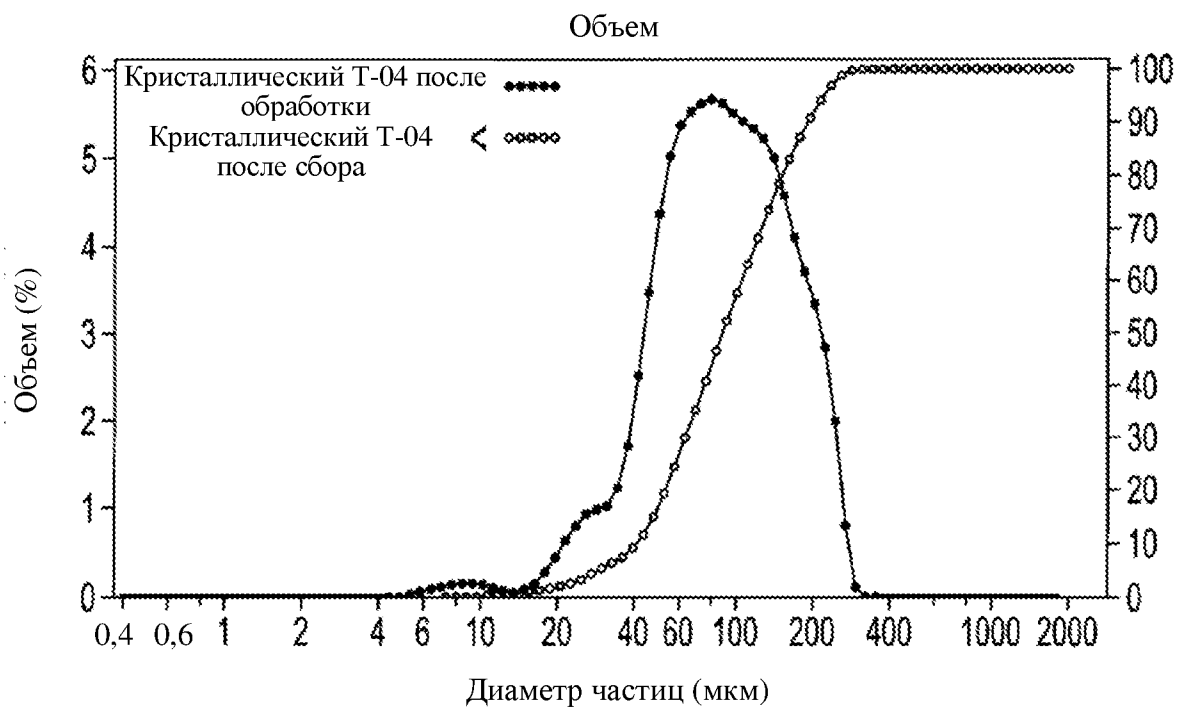
Фиг. 4В



Фиг. 5

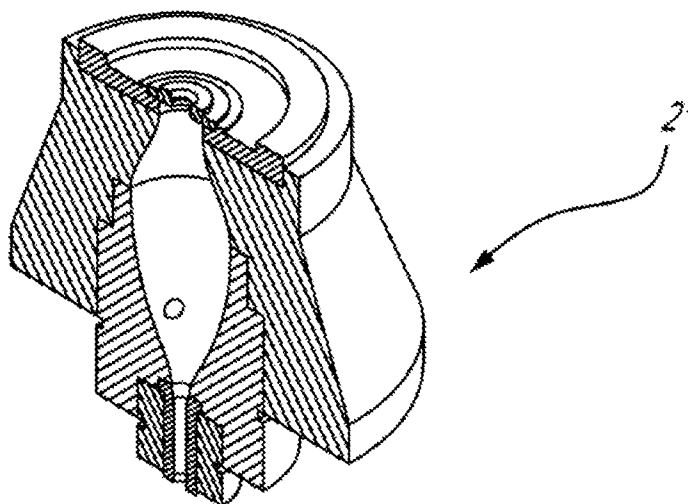


Фиг. 6А

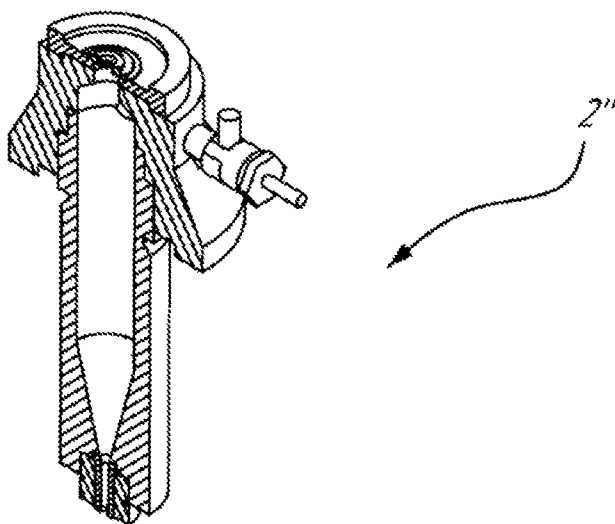


Фиг. 6В

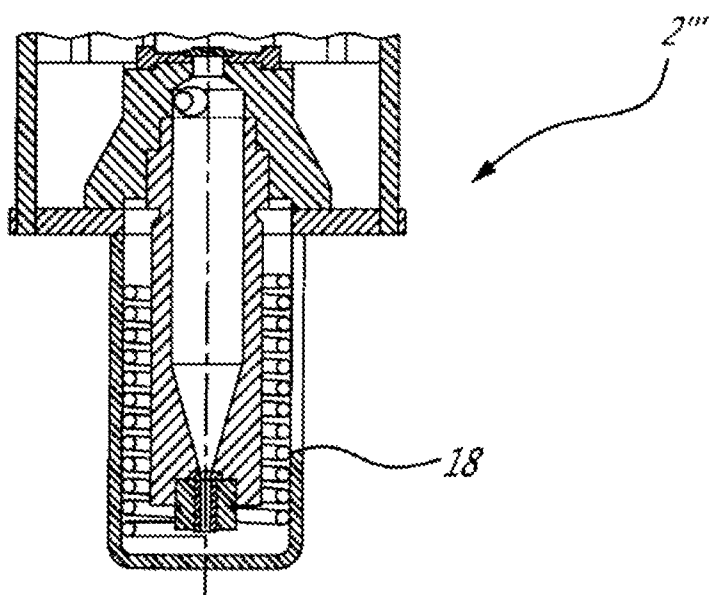
7/7



Фиг. 7А



Фиг. 7В



Фиг. 7С