

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(21) **202491284** (13) **A1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ**

(43) Дата публикации заявки
2024.09.19

(22) Дата подачи заявки
2022.11.22

(51) Int. Cl. **B22F 10/22** (2021.01)
B22F 3/115 (2006.01)
B29C 64/153 (2017.01)
B33Y 10/00 (2015.01)
B33Y 30/00 (2015.01)
B33Y 40/00 (2020.01)

(54) **СИСТЕМА ОСАЖДЕНИЯ КАПЛИ МЕТАЛЛА**

(31) **63/281,919; 63/288,897**

(32) **2021.11.22; 2021.12.13**

(33) **US**

(86) **PCT/US2022/050699**

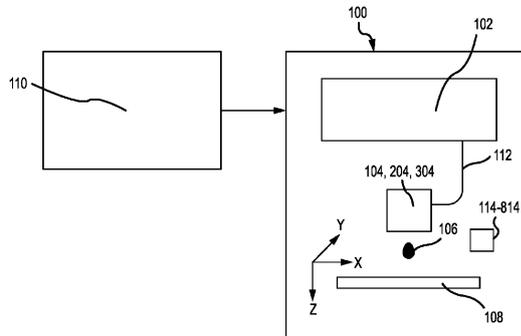
(87) **WO 2023/091782 2023.05.25**

(71) Заявитель:
ФЛЮЭНТ МЕТАЛ ИНК. (US)

(72) Изобретатель:
**Шмитт Питер, МакКембридж Мэтью
(US)**

(74) Представитель:
Нагапетян Э.А. (AM)

(57) Описанные и заявленные здесь варианты осуществления обеспечивают систему и способ создания капель расплавленного металла. Капли расплавленного металла можно использовать для 3D-печати или аддитивного производства. Система состоит из печатающей головки и источника тепла. Источник тепла плавит часть твердого металлического сырья с образованием капли металла.



202491284
A1

202491284
A1

СИСТЕМА ОСАЖДЕНИЯ КАПЛИ МЕТАЛЛА

ПЕРЕКРЕСТНЫЕ ССЫЛКИ НА СВЯЗАННЫЕ ЗАЯВКИ

[0001] Настоящей заявкой испрашивается приоритет первичной заявки на патент США № 63/281,919, с названием «УЛУЧШЕННАЯ СИСТЕМА ОСАЖДЕНИЯ МЕТАЛЛА», поданной 22 ноября 2021 г., и первичной заявки на патент США № 63/288,897, с названием «СИСТЕМА ОСАЖДЕНИЯ КАПЛИ МЕТАЛЛА КОНТАКТНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ», и поданной 13 декабря 2021 г. Каждая из этих заявок специально полностью включена в настоящий документ посредством ссылки.

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

[0002] Аспекты настоящего изобретения в целом относятся к системам и способам трехмерной (3D) металлической печати и, более конкретно, к системам и способам создания капель расплавленного металла по требованию.

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

[0003] Различные трехмерные структуры могут быть изготовлены с использованием множества материалов. Например, трехмерные металлические конструкции могут быть сформированы посредством 3D-печати путем осаждения слоев жидкого металла на сборочную платформу. Некоторые процессы аддитивного производства металлов включают направление расплавленного металла по траектории. Однако такие процессы сталкиваются с проблемами, связанными с согласованностью и повторяемостью траектории, масштабируемостью пропускной способности металла, управлением высокотемпературными материалами и сложностью систем управления, а также потерей эффективности времени между сбоями, помимо прочих трудностей. Эти проблемы усугубляются в отношении сроков, эффективности и качества, когда процессы включают в себя резервуар с расплавленным металлом и сопло(а) для получения расплавленного металла.

КРАТКОЕ ИЗЛОЖЕНИЕ

[0004] Осуществления, описанные и заявленные в настоящем изобретении, решают вышеупомянутые проблемы путем предоставления систем и способов для 3D-печати. В

одном осуществлении получают твердое металлическое сырье. Металлическая масса отделяется от твердого металлического сырья путем приложения силы, и при нагревании металлической массы образуется капля расплавленного металла. Капля расплавленного металла движется по траектории к сборочной платформе, и трехмерная структура формируется путем осаждения капли расплавленного металла в заданном месте на сборочной платформе.

[0005] В настоящем изобретении описаны и изложены также и другие осуществления. Кроме того, хотя раскрыты многочисленные варианты осуществления, специалистам в данной области техники станут очевидными и другие осуществления раскрытой в настоящем изобретении технологии из следующего подробного описания, которое показывает и описывает иллюстративные осуществления раскрытой в настоящем документе технологии. Как будет понятно, раскрытая в настоящем документе технология допускает модификации в различных аспектах, и все это без отклонения от сущности и объема раскрытой в настоящее время технологии. Соответственно, чертежи и подробное описание следует рассматривать как иллюстративные по своей природе, а не ограничивающие.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

[0006] Фиг. 1 показывает пример системы 3D-печати путем осаждения расплавленного металла.

[0007] Фиг. 2 показывает пример печатающей головки.

[0008] Фиг. 3А-3В показывают различные виды примера печатающей головки.

[0009] Фиг. 4А-4Д показывают пример последовательности, используемой для создания капель металла.

[0010] Фиг. 5А-5З показывают различные примеры источников тепла.

[0011] Фиг. 6А-6Г показывают пример последовательности, используемой для создания капель металла.

[0012] Фиг. 7А показывает пример печатающей головки.

[0013] Фиг. 7Б показывает увеличенный вид части печатающей головки, показанной на Фиг. 7А.

[0014] Фиг. 8 показывает пример контактной поверхности.

[0015] Фиг. 9А-Д показывает пример последовательности, используемой для создания металлического порошка.

[0016] Фиг. 10А-Г показывает пример последовательности, используемой для отделения капли от твердого сырья.

[0017] Фиг. 11 иллюстрирует пример вычислительной системы, сконфигурированной для реализации различных операций.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ

[0018] Аспекты раскрытой в настоящем документе технологии относятся к системам и способам создания трехмерных структур, таких как объекты и/или детали, с использованием капель расплавленного металла, генерируемых из твердого металлического сырья, включая, помимо прочего, стержень, ленту, массу из металлического порошка, проволоки (например, микропровода) и/или др. Как правило, трехмерные структуры создаются с помощью 3D-печати и/или аддитивного производства путем создания и распределения капель расплавленного металла на сборочную платформу слоями по требованию. Металлическую массу можно отделить от твердого металлического сырья (например, проволоки, микропровода, стержня, ленты, порошковой массы и т. д.) путем приложения силы, при этом при нагревании металлической массы образуется капля расплавленного металла. Этот процесс отделения и плавления не обязательно должен происходить непрерывно, но может привести к образованию каждой отдельной капли по мере необходимости по требованию. Металлическая масса может быть расплавлена до отделения от твердого металлического сырья и/или после отделения от твердого металлического сырья (например, в полете после сообщения скорости металлической массе). Сила может представлять собой силу удара (например, рубящую, рассекающую и т.д.), аэродинамическую силу, силу сжатия и/или т.п. Капля расплавленного металла направляется по траектории к сборочной платформе, и трехмерная структура формируется путем нанесения капли расплавленного металла в заданном месте на сборочной платформе, например, на поверхности сборочной платформы, на части трехмерной структуры (например, на ранее сформированном слое, в формируемом слое и т.д.) и/или т.п.

[0019] В одном примере печатающая головка отделяет часть твердого металлического сырья, такого как металлическая проволока, и выталкивает металлическую частицу из печатающей головки с заданной скоростью и положением. Капля расплавленного металла

образуется путем плавления металлической частицы во время полета с использованием источника тепла перед контактом со сборочной платформой.

[0020] В другом примере капля расплавленного металла образуется на части твердого металлического сырья, такого как кончик металлической проволоки, путем нагревания этой части. Эту часть можно плавить до тех пор, пока не образуется капля, диаметр которой превышает диаметр твердого сырья. Приведенная в действие контактная поверхность может создавать силу, отделяющую каплю расплавленного металла от твердого металлического сырья и заставляющую каплю расплавленного металла двигаться по траектории к сборочной платформе. Альтернативно или дополнительно, поток газа может поддерживаться со скоростью, достаточной для создания аэродинамической силы, заставляющей каплю расплавленного металла отделяться от твердого металлического сырья и двигаться к сборочной платформе.

[0021] В другом примере твердое металлическое сырье включает порошковое сырье. Масса металла отделяется от порошкового сырья в виде известного объема порошка известной плотности, например, за счет силы сжатия. Масса подается в зону нагрева, где масса расплавляется до капель расплавленного металла и направляется к сборочной платформе.

[0022] Различные другие примеры будут очевидны из настоящего описания. В целом, раскрытая в настоящее время технология генерирует капли расплавленного металла по требованию, избегая при этом проблем, связанных с использованием резервуаров, сопел, направляющих каналов, испарения и т.п. Отделение капли расплавленного металла может быть более предсказуемым при использовании раскрытой здесь технологии, и время этого отделения также может быть более предсказуемым. Кроме того, раскрытая в настоящее время технология создает капли более высокой температуры и из разных типов металлов. Кроме того, в некоторых примерах, когда металлическая частица нагревается в полете, на печатающей головке не остается остатков расплавленного металла, что повышает эффективность за счет сокращения обслуживания и сбоев системы.

[0023] Чтобы начать подробное обсуждение, обратимся к Фиг. 1, на которой показана система 3D-печати 100 для генерации капель расплавленного металла по требованию для создания трехмерных структур, таких как детали и/или объекты. В одном осуществлении система 3D-печати 100 содержит твердое металлическое сырье, включая, помимо прочего, источник(и) металлической проволоки, металлический(ие) стержень(и), металлическую(ие) ленту(ы), исходный материал металлического порошка и/или т.п.

[0024] Например, твердое металлическое сырье может включать в себя источник металлической проволоки 102. Источник металлической проволоки 102 может представлять собой, помимо прочего, одну или несколько кассет с металлическими микропроводами, катушки, расходные материалы и/или тому подобное. Источник металлической проволоки 102 может содержать одну или несколько металлических проволок 112, изготовленных из металла одного и того же типа или разных типов. Печатающая головка 104 может быть связана с одним или несколькими источниками металлической проволоки 102.

[0025] В одном варианте осуществления печатающая головка 104 генерирует капли расплавленного металла 106, которые выбрасываются в направлении сборочной платформы 108, расположенной относительно печатающей головки 104. Каждая из капель расплавленного металла 106 осаждается в заданном месте на сборочной платформе 108, тем самым формируя трехмерную структуру из металла, такого как один или несколько металлических предметов, металлических деталей и/или т.п. Трехмерная структура формируется из одного или нескольких слоев металла, которые создаются путем осаждения капель расплавленного металла 106. Таким образом, заданное место каждой из капель расплавленного металла 106 может находиться на поверхности сборочной платформы 108 и/или на другой части трехмерной структуры, такой как ранее осажденный слой или капля, относительно ранее осажденной капли (например, внутри того же слоя) и/или тому подобное. Трехмерная структура может иметь форму, сформированную в соответствии с инструкциями печати, управляемыми контроллером 110.

[0026] В одном варианте осуществления инструкции печати генерируются вычислительной системой, которая может быть частью контроллера 110 или поддерживать связь с ним. Инструкции печати могут генерироваться, например, на основе трехмерной модели трехмерной структуры. Компьютерная система может включать в себя персональный компьютер, терминал, рабочую станцию, мобильное устройство, смартфон, планшет и/или т.п. Компьютерная система может иметь связь с печатающей головкой 104 и любыми другими частями системы 3D-печати 100 через проводное (например, универсальную последовательную шину, Ethernet и т. д.) или беспроводное соединение (например, Wi-Fi, Bluetooth и т. д.). Например, система 3D-печати 100 может включать сетевой интерфейс для облегчения связи с компьютерной системой через сеть. Инструкции печати могут быть получены на контроллере 110 системы 3D-печати 100 через проводное или беспроводное соединение. В другом осуществлении инструкции

печати принимаются в систему 3D-печати 100 от компьютерной системы через съемную память. Следует понимать, что инструкции печати могут быть получены контроллером 110 различными способами, в том числе напрямую, когда вычислительная система является частью контроллера 110.

Инструкции печати могут включать в себя один или несколько профилей, форм, толщин и/или других характеристик одной или нескольких частей трехмерной структуры, каждый из которых может быть настроен с использованием вычислительной системы. Инструкции печати могут дополнительно включать параметры капель расплавленного металла 106 и характеристики осаждения. Например, инструкции печати могут указывать диаметр капли, температуру капли, скорость печати, высоту слоя, ширину слоя, заданное место капли расплавленного металла 106 и/или т.п., которые также могут быть настраиваемыми. Контроллер 110 управляет образованием капель расплавленного металла 106 и осаждением капель расплавленного металла 106 на сборочной платформе 108 в соответствии с инструкциями печати.

[0027] В одном варианте осуществления трехмерная модель представляет собой представление трехмерной структуры, которое может включать в себя множество подмоделей для частей трехмерной структуры. Трехмерная модель разделена на множество контуров, например серию последовательных поперечных сечений трехмерной модели. Множество контуров используется для создания инструкций печати трехмерной структуры. Инструкции печати могут быть в формате, воспринимаемом контроллером 110, печатающей головкой 104 и/или другими компонентами системы 3D-печати 100. Инструкции печати определяют действия одного или нескольких компонентов системы 3D-печати во время производства продукта трехмерной структуры. Контроллер 110 сконфигурирован для управления действиями одного или более компонентов в соответствии с инструкциями печати. Система 3D-печати 100 производит одну или несколько частей трехмерной структуры с использованием аддитивного процесса, в котором капли расплавленного металла 106 осаждаются для послойного формирования на сборочной платформе 108. Инструкции печати могут контролировать образование капель расплавленного металла 106 с использованием контролируемого продвижения металлической массы, такой как металлическая проволока 112, из твердого металлического сырья в виде одного или более источников металлической проволоки 102.

[0028] Продвижение металлической проволоки 112 от источника металлической проволоки 102 к печатающей головке 104 может быть достигнуто за счет использования пьезо привода, шагового двигателя, звуковой катушки и/или любого другого подходящего

средства захвата и перемещения провода с контролируемой скоростью. Для продвижения металлической проволоки 112 можно использовать один привод. Однако следует понимать, что для продвижения металлической проволоки 112 можно использовать несколько приводов, работающих вместе.

[0029] В одном варианте осуществления печатающая головка 104 выбрасывает металлические частицы с максимальной частотой. Печатающая головка 104 может содержать один измельчитель или группу измельчителей, каждый из которых снабжен металлической проволокой 112 одного и того же или разных типов. Печатающая головка 104 выбрасывает металлические частицы по траектории к сборочной платформе 108 с помощью измельчителей. Кроме того, печатающая головка 104 способна пропускать одну или несколько частиц, что также называется каплей по требованию. В плоскости X-Y печатающая головка 104 и сборочная платформа 108 движутся относительно друг друга либо по вектору, по траектории инструмента, при растровом сканирующем движении и/или т.п. В некоторых случаях выброшенные металлические частицы плавятся вдоль траектории полета с помощью источника тепла 114, и полученные капли расплавленного металла 106 осаждаются в заданном месте слоя в соответствии с инструкциями печати, отправленными контроллером 110. Как отмечалось выше, трехмерная структура состоит из одного или нескольких слоев. Печатающая головка 104 и сборочная платформа 108 также могут перемещаться относительно друг друга в Z-направлении.

[0030] Обращаясь к Фиг. 2, на котором показан увеличенный вид печатающей головки 104, следует понимать, что привод 116 может использоваться для продвижения металлической проволоки 112 к печатающей головке 104. Приводом 116 может быть, помимо прочего, пьезо привод, шаговый двигатель, звуковая катушка и/или т.п.

[0031] В одном варианте осуществления печатающая головка 104 включает в себя рамку 118, в которую входит металлическая проволока 112. Рамка 118 включает в себя входное отверстие 120, через которое металлическая проволока 112 входит в рамку 118. Рамка 118 также включает в себя выходное отверстие 122, через которое выходят металлические частицы 124. Измельчитель 126 может быть расположен внутри рамки 118. Измельчитель 126 вращается вокруг центральной оси 128, при этом центральная ось 128 ортогональна направлению движения металлической проволоки 112. Измельчитель 126 может управляться двигателем, например роторным двигателем. Корпус 130 измельчителя 126 может иметь зубья 132, идущие радиально наружу от корпуса 130. Корпус 130 может иметь различные формы, например цилиндрическую форму.

[0032] В соответствии с инструкциями по печати привод 116 продвигает металлическую проволоку 112 во входное отверстие 120. Проволока 112 может продвигаться до тех пор, пока кончик металлической проволоки 112 не коснется корпуса 130 измельчителя 126. Таким образом, длина части металлической проволоки 112, которая должна быть отрезана, соответствует формированию металлических частиц 124. Вращение измельчителя 126 вокруг центральной оси 128 заставляет один из зубцов 132 контактировать с частью металлической проволоки 112, которая проходит через входное отверстие 120 с ударной силой. Таким образом, сила удара, вызванная продолжающимся вращением измельчителя 126, приводит к отделению части металлической проволоки 112 от остальной части металлической проволоки 112. Отрезанная часть металлической проволоки 112 продвигается зубцами 132 до тех пор, пока отрезанная часть металлической проволоки 112 не достигнет выходного отверстия 122, где несколько частей металлической проволоки 112 отделяются от рамки 118 в виде металлической частицы 124. Металлическая частица 124 направляется по траектории к сборочной платформе 108 со скоростью, создаваемой силой тяжести, когда металлическая частица 124 падает с рамки 118 и/или движением измельчителя 126. Более конкретно, в некоторых случаях вращение измельчителя 126 сообщает исходящую скорость металлической частице 124.

[0033] Обращаясь к Фиг. 3А-3В, в одном примере привод 216 может использоваться для перемещения металлической проволоки 212 по направлению к печатающей головке 204. Приводом 216 может быть пьезо привод, шаговый двигатель, звуковая катушка и/или тому подобное.

[0034] В одном варианте осуществления печатающая головка 204 содержит входное отверстие 220 и выходное отверстие 222. Входное отверстие 220 и выходное отверстие 222 могут быть зафиксированы в своем положении. Печатающая головка 204 также включает в себя измельчитель 226. Измельчитель 226 содержит верхнюю поверхность 234, имеющую одно или несколько отверстий 238. Измельчитель 226 также содержит нижнюю поверхность 236, имеющую одно или несколько отверстий. Верхняя поверхность 234 и нижняя поверхность 236 могут быть разделены заранее определенным расстоянием для создания объема между ними. Скользящие уплотнения 244 могут быть расположены между выбрасывающей трубкой 240 и верхней поверхностью 234 и между выходным отверстием 222 и нижней поверхностью 236.

[0035] Измельчитель 226 вращается вокруг центральной оси 228. Центральная ось 228 может быть параллельна направлению продвижения металлической проволоки 212. Когда

измельчитель 226 вращается, одно или несколько отверстий 238 на верхней поверхности 234 совмещается с входным отверстием 220. Привод 216 продвигает металлическую проволоку 212 так, что кончик металлической проволоки 212 контактирует с нижней поверхностью 236. Таким образом, длина части металлической проволоки 212, которая должна быть отрезана, одинакова. Когда измельчитель 226 продолжает вращаться, верхняя поверхность 234 служит поверхностью сдвига для отделения части металлической проволоки 212, расположенной в объеме между верхней 234 и нижней 236 поверхностями. Когда измельчитель 226 продолжает вращаться, одно или несколько отверстий 238 совмещаются с выбрасывающей трубкой 240. Выбрасывающая трубка 240 может быть зафиксирована на месте и совмещена с выходным отверстием 222 на противоположной стороне измельчителя 236.

[0036] В одном варианте осуществления выбрасывающая трубка 240 сообщается с источником вытеснительного газа 242. Когда одно или несколько отверстий 238 совпадают с выбрасывающей трубкой 240, вытеснительный газ, выбрасываемый из источника вытеснительного газа 242, вынуждает часть металлической проволоки 212, которая расположена в объеме между верхней 234 и нижней 236 поверхностями, выбрасываться через выпускное отверстие 222 в виде металлической частицы 224. Другими словами, вытеснительный газ сообщает скорость металлической частице 224.

[0037] Ссылаясь на Фиг. 4А-4Д, металлическая проволока 112, 212 продвигается вперед, как показано на Фиг. 4А. Далее, как показано на Фиг. 4Б, часть металлической проволоки 112, 212 отделяется от остальной части металлической проволоки 112, 212 с помощью ударной силы, создаваемой измельчителем 126, 226. Этой части проволоки 112, 212 сообщается начальная скорость соответствующей величины и направления, когда она выходит из печатающей головки 104, 204 в виде металлической частицы 124, 224, как показано на Фиг. 4В. Когда металлическая частица 124, 224 находится в полете, она подвергается воздействию тепла от источника тепла 114, как показано на Фиг. 4Г. Это тепло преобразует металлическую частицу 124, 224 в каплю расплавленного металла 106, которая продолжает движение по ранее заданной траектории к сборочной платформе 108 для осаждения в заданном месте. Благодаря этой последовательности капля расплавленного металла 106 имеет известную скорость, положение, температуру и массу. Показанную последовательность можно повторить в соответствии с инструкциями печати. В некоторых случаях эти этапы могут быть организованы таким образом, что одна металлическая частица 124, 224 нагревается (см. Фиг. 4Г), в то время как часть

металлической проволоки 112, 212 отделяется (см. Фиг. 4Б) для создания следующей металлической частицы 124, 224.

[0038] На Фиг. 5А-5Е показаны примеры источника тепла 114. Обращаясь сначала к Фиг. 5А, источник тепла 114 может включать в себя один или несколько лазерных лучей 146, фокусирующих свет на металлической частице 124, 224. Свет может проходить, например, через волоконно-оптический кабель. Волоконно-оптический кабель может включать линзу для фокусирования выходящего луча на металлической частице 124, 224. Энергия лазерного луча 146 заставляет металлическую частицу 124, 224 переходить из твердого состояния в жидкое, образуя каплю расплавленного металла 106.

[0039] В другом варианте осуществления, показанном на Фиг. 5Б, источник тепла 114 включает в себя индукционный источник тепла 214, включающий индукционную катушку 248 для нагрева кончика металлической частицы 124, 224 для создания капли расплавленного металла 106. Индукционная катушка 248 по меньшей мере частично окружает путь металлической частицы 124, 224. Другими словами, после того, как металлическая частица 124, 224 высвобождается измельчителем 126, 226, металлическая частица 124, 224 перемещается по пути для прохождения через индукционную катушку 248. Количество энергии, подаваемой на индукционную катушку 248, может быть определена в соответствии со свойствами индукционной катушки 248 и материалом, диаметром и длиной металлических частиц 124, 224 внутри нее, когда контролируется в соответствии с инструкциями по печати. Когда питание подается на индукционную катушку 248, металлическая частица 124, 224 нагревается и переходит в жидкое состояние, образуя каплю расплавленного металла 106.

[0040] В другом варианте осуществления, показанном на Фиг. 5В, источник тепла 114 включает в себя плазменный источник тепла 314, который создает плазменную дугу 350 между двумя электродами 352 путем приложения электрического потенциала к зазору, расположенному между электродами 352, который может быть заполнен или не заполнен газом, отличным от воздуха, таким как защитный газ. Напряжение, приложенное к электродам 352, может быть напряжением переменного тока (AC) или постоянного тока (DC). Величина напряжения может быть определена, например, на основании расстояния между электродами 352, массы и размера металлической частицы 124, 224 и типа используемого металла. Напряжение может быть приложено к одному электроду или обоим электродам 352. Специалисты в данной области техники могут легко определить подходящую величину напряжения на основе этих параметров. Плазменная дуга 350

достаточно горячая, чтобы расплавить металлическую частицу 124, 224 из твердого состояния в жидкое, с образованием капли расплавленного металла 106.

[0041] В другом варианте осуществления, показанном на Фиг. 5Г, источник тепла 114 включает в себя источник тепла проводимости 414. Металлическая частица 124, 224 может контактировать с одной или несколькими нагретыми пластинами 454 после того, как она выпущена измельчителем 126, 226. Пластины 454 могут быть нагреты с использованием любого подходящего метода, такого как резистивные нагреватели, энергии света и/или т.п. В некоторых примерах нагретые пластины 454 могут образовывать канал, через который направляются металлические частицы 124, 224. Например, нагретые пластины 454 могут содержать полую трубку, по которой перемещаются металлические частицы 124, 224.

[0042] В другом варианте осуществления, показанном на Фиг. 5Д, металлическая частица 124, 224 нагревается источником тепла 514 посредством резистивного нагрева, при котором ток проходит через металлическую частицу 124, 224 в полете, когда она движется по траектории к сборочной платформе 108. Траектория включает в себя металлическую частицу 124, 224, падающую между двумя вращающимися колесами 556. Вращающиеся колеса 556 могут вращаться в противоположных направлениях, чтобы придать выходную скорость металлическим частицам 124, 224. Вращающиеся колеса 556 могут быть смещены под разными напряжениями, так что когда металлическая частица 124, 224 падает между обоими вращающимися колесами 556 и контактирует с ними, через металлическую частицу 124, 224 проходит ток. Величина тока может быть достаточной для перехода металлической частицы 124, 224 из твердой формы в жидкую, тем самым создавая капли расплавленного металла 106.

[0043] В другом варианте осуществления, показанном на Фиг. 5Е, источник тепла 614 нагревает металлическую частицу 124, 224 за счет резистивного нагрева с использованием по меньшей мере двух проводов 658, которые проходят по пути металлической частицы 124, 224, так что, когда металлическая частица 124, 224 движется, она контактирует, по меньшей мере, с двумя проводами 658. Эти провода находятся под разными напряжениями, так что металлическая частица 124, 224 проводит электричество при прохождении по меньшей мере двух проводов 658. Величина тока может быть достаточной для перехода металлической частицы 124, 224 из твердой формы в жидкую, создавая каплю расплавленного металла 106.

[0044] В другом варианте осуществления, показанном на Фиг. 5Ж, металлическая частица 124, 224 нагревается конвекционным источником тепла 714. В этом варианте

осуществления горячий газ 760, такой как нагретый воздух, циркулирует рядом с металлической частицей 124, 224, когда она движется к сборочной платформе 108, тем самым переводя металлическую частицу 124, 224 из твердой формы в жидкую и создавая каплю расплавленного металла 106.

[0045] В другом варианте осуществления, показанном на Фиг. 53, тепловая энергия используется источником тепла 814 для нагрева металлической частицы 124, 224. В этом варианте осуществления одна или несколько нагретых масс 862 могут быть размещены вблизи пути металлической частицы 124, 224, когда она движется к сборочной платформе 108. Теплоты от нагретых масс 862 может быть достаточно, чтобы заставить металлическую частицу 124, 224 перейти из твердой формы в жидкую, тем самым создавая каплю расплавленного металла 106.

В некоторых вариантах осуществления один или несколько источников тепла 114 (например, один или несколько источников тепла 214-814) могут быть расположены последовательно, так что металлическая частица 124, 224 проходит через более чем один источник тепла, прежде чем достичь сборочной платформы 108. Дополнительные источники тепла могут быть расположены до или после того, как металлическая частица 124, 224 перейдет в каплю расплавленного металла 106, чтобы гарантировать, что капля расплавленного металла 106 имеет желаемую температуру, когда она достигает сборочной платформы 108. Источник(и) тепла 114 могут находиться под отдельным контролем друг от друга и управляться в реальном времени, так что количество тепла, добавляемое к капле расплавленного металла 106 любым последующим источником тепла, может изменяться на основе измеренной и/или предполагаемой температуры капли расплавленного металла 106. Температуру капли расплавленного металла 106 можно непосредственно измерить с помощью различных технологий твердотельных датчиков, таких как, например, инфракрасные датчики. Эта задача становится более разумной благодаря тому факту, что многое известно о других свойствах капли расплавленного металла 106, таких как материал и масса капли расплавленного металла 106. Температуру капли также можно определить путем измерения энергии, фактически вложенной в каплю расплавленного металла 106 на предыдущих этапах, поскольку можно более точно измерить энергию, которая была передана любой заданной капле, по сравнению с номинальной энергией, предназначенной для передачи каплям в соответствии с инструкциями печати и/или калиброванными параметрами системы 3D-печати 100. Температуру капли можно регулировать так, чтобы она приближалась к желаемой температуре, добавляя переменное количество энергии, изменяя энергию

пропорционально разнице между измеренной и желаемой температурой и/или тому подобное.

[0046] На Фиг. 6А-6Г показаны примерные процессы работы печатающей головки 304. В одном примере режима работы «капля по требованию» каждый раз, когда требуется капля расплавленного металла 106, как показано на Фиг. 6А, металлическая проволока 112 подается приводом 116 через направляющий канал 364. Металлическая проволока 112 проходит за пределы направляющего канала 364 в зону нагрева 366. Как описано ниже, зона нагрева 366 может быть создана с использованием источника тепла 114, который может представлять собой любой подходящий источник тепла (например, источники тепла 214-814), такой как лазер, индукционная катушка, источник плазмы и/или т.п., как описано здесь.

[0047] Как показано на Фиг. 6Б, кончик металлической проволоки 112 в зоне нагрева 366 плавится и образует расплавленную сферу 368 на кончике проволоки 112. Расплавленная сфера 368 может вступать в контакт с контактной поверхностью 370. В некоторых вариантах осуществления контактная поверхность 370 может быть концом или лицевой стороной направляющего канала 364. В некоторых вариантах осуществления, таких как показанных на Фиг. 7Б, отдельный элемент, такой как капилляр 372, добавлен на конце направляющего канала 364 или рядом с ним. Конец и/или поверхность этого отдельного компонента служит контактной поверхностью 370.

[0048] В процессе работы, как показано на Фиг. 6В, привод, такой как двигатель, пьезо, пневматический, магнитный механизм и/или тому подобное, как описано здесь, перемещает контактную поверхность 370 относительно металлической проволоки 112, вызывая отделение расплавленной сферы 368 от металлической проволоки 112. Когда контактная поверхность 370 достигает максимального расстояния перемещения, она разворачивается и возвращается в исходное положение, в то время как расплавленная сфера 368 отделяется от контактной поверхности 370 в виде капли расплавленного металла 106. Длина перемещения может быть установлена таким образом, чтобы обеспечить отделение капли расплавленного металла 106 от металлической проволоки 112 и придать достаточной скорости капле расплавленного металла 106, необходимой для печати, с максимальным ускорением, соответствующим размеру и материалу капли расплавленного металла 106.

[0049] Как показано на Фиг. 6Г, в одном варианте осуществлении капля расплавленного металла 106 сохраняет свою траекторию после отделения от контактной поверхности 370. Если контактная поверхность 370 перемещается с одинаковой скоростью для каждой

расплавленной сферы 368, траектория каждой последующей капли металла 106 может быть почти идентична.

[0050] Механизм отделения расплавленной сферы 368 от металлической проволоки 112 возможен, когда размеры расплавленной сферы 368 и металлической проволоки 112, а также свойства металлической проволоки 112 таковы, что сила сцепления поддерживает силу расплавленной сферы 368, имеющей обычно сферическую форму, превышает силу, удерживающую расплавленную сферу 368 на металлической проволоке 112. В одном неограничивающем примере расплавленная сфера 368 имеет диаметр приблизительно 0,175 мм или более, металлическая проволока 112 имеет диаметр приблизительно 0,100 мм, а материал металлической проволоки 112 — алюминий 6061.

[0051] Ссылаясь на Фиг. 7А-7Б, показан пример печатающей головки 304 с источником тепла 114 (например, 214-814), расположенным вблизи кончика металлической проволоки 112. В одном варианте осуществления источник тепла 114 содержит электропроводящий электрод, смещенный с помощью источника питания высокого напряжения. Таким образом, между металлической проволокой 112, которая может быть заряжена отрицательно, и положительно заряженным электродом создается большое напряжение. Это большое напряжение вызывает электрический разряд, образующий плазменную дугу между концом металлической проволоки 112 и кончиком электрода. Эта дуга имеет достаточную энергию, чтобы вызвать плавление короткой части конца металлической проволоки 112. Расплавленная короткая часть образует сферу расплавленного металла 368 на конце металлической проволоки 112. Электрод может иметь размер, геометрию и материал, позволяющие выдерживать множество таких электрических разрядов без ухудшения характеристик. Однако следует понимать, что другие источники тепла, такие как лазеры, индукционные катушки и другие, как описано выше, могут использоваться для формирования расплавленной сферы 368 на кончике металлической проволоки 112.

[0052] На Фиг. 7Б показан увеличенный вид кончика металлической проволоки 112 и опорных конструкций. В одном варианте осуществления металлическая проволока 112 проходит через направляющий канал 364. Отдельный компонент, такой как капилляр 372, может быть расположен вблизи конца направляющего канала 364. Капилляр 372 подвижен относительно направляющего канала 364 и к металлической проволоке 112. Капилляр 372 изготовлен из материала, несмачивающегося в присутствии расплавленного металла. Капилляр 372 может служить контактной поверхностью 370, как описано выше.

[0053] Возвращаясь к Фиг. 7А, в одном варианте осуществления контактная поверхность 370 представляет собой конец капилляра 372. Капилляр 372 может перемещаться с

помощью рычага 374 вокруг точки поворота 376. Это перемещение может быть создано любым типом привода. Электромагниты 378 расположены вблизи дистального конца рычага 374 в сильном магнитном поле. Это позволяет рычагу 374 перемещаться с высокой повторяемостью, подобно, например, сканирующей головке магнитного дискового двигателя. Металлическая проволока 112 может подаваться через направляющий канал 364, а положение металлической проволоки 112 вдоль ее оси контролируется приводным роликом 380, вращаемым шаговым двигателем.

[0054] В некоторых вариантах осуществления контактная поверхность 370 может быть плоской. Однако в других вариантах осуществления, как показано на Фиг. 8, контактная поверхность 470 имеет вогнутую форму для облегчения размещения сферы и областей силовой имплантации.

[0055] Обращаясь к Фиг. 9А-9Д, в одном варианте осуществления твердое металлическое сырье представляет собой сырье металлического порошка. Сырье металлического порошка может иметь частицы одного размера или диапазон размеров частиц. Например, сырье металлического порошка может быть рыхлым или механически уплотненным с помощью операции прессования. На Фиг. 9А-9Д, показан пример последовательности, используемой для создания механически уплотненного металлического порошка. На Фиг. 9А показан подающий башмак 182, содержащий сырье металлического порошка, расположенное над матрицей 184. На Фиг. 9Б нижний пуансон 186 отведен назад, чтобы позволить металлической массе из сырья металлического порошка заполнить матрицу 184. На Фиг. 9В, подающий башмак 182 отодвигается от матрицы 184, когда масса металла достигает пороговой величины внутри матрицы 184. На Фиг. 9Г, верхний пуансон 188 опускается в матрицу 184 для приложения силы сжатия для сжатия металлического порошка, расположенного в матрице 184. На Фиг. 9Д, верхний пуансон 188 отодвигается от матрицы 184, а нижний пуансон 186 перемещается вверх для выброса сжатого металлического порошка из матрицы 184 для плавления с образованием капли расплавленного металла 106.

[0056] Металлический порошок может содержать дополнительные добавки для увеличения или уменьшения сцепления между частицами. Система 3D-печати 100 обеспечивает отделение известной массы металлического порошка от сырья металлического порошка, например, посредством известного объема металлического порошка с известной плотностью. Металлическая масса перемещается в область, где происходит нагревание и плавление, с образованием однородной капли известной массы как капля расплавленного металла 106.

[0057] Ссылаясь на Фиг. 10А-10Г, следует понимать, что отделение капли расплавленного металла 106 от металлической проволоки 112 может быть достигнуто с использованием аэродинамических сил, приложенных газом 190. В одном варианте осуществления капля расплавленного металла 106 отделяется от металлической проволоки 112 посредством поддержания постоянного потока газа 190 с высокой скоростью, так что, когда капля достигает определенного критического диаметра, аэродинамическая сила заставляет каплю расплавленного металла 106 отделяться от металлической проволоки 112. Газ 190 может представлять собой воздух и может обеспечивать дополнительные функции, такие как вытеснение кислорода для предотвращения коррозии и/или полезной химической реакции. Кроме того, газ 190 может быть нагрет или охлажден до температуры, которая выгодна для процесса создания капли расплавленного металла 106 и/или регулирования ее температуры. В одном варианте осуществления поток газа 190 симметрично подается вокруг металлической проволоки 112 и капли расплавленного металла 106.

[0058] Ссылаясь на Фиг. 11, представлено подробное описание примерной вычислительной системы 900, имеющей один или более вычислительных блоков, которые могут осуществлять различные системы и способы, обсуждаемые здесь. Вычислительная система 900 может быть применима к контроллеру 110, различным компонентам системы 3D-печати 100 и другим вычислительным системам, контроллеру и/или сетевым устройствам или блокам. Следует понимать, что конкретные осуществления этих устройств могут иметь различные возможные конкретные вычислительные архитектуры, не все из которых конкретно обсуждаются здесь, но будут понятны специалистам в данной области техники.

[0059] Компьютерная система 900 может представлять собой вычислительную систему, способную выполнять компьютерный программный продукт для выполнения компьютерного процесса. Файлы данных и программ могут быть введены в компьютерную систему 900, которая считывает файлы и выполняет содержащиеся в них программы. Некоторые элементы компьютерной системы 900 показаны на Фиг. 11, включая один или несколько аппаратных процессоров 902, одно или несколько устройств хранения данных 904, одно или несколько устройств памяти 906 и/или один или несколько портов 908-910. Кроме того, в вычислительную систему 900 могут быть включены и другие элементы, которые будут понятны специалистам в данной области техники, но они явно не изображены на Фиг. 11 или обсуждаются далее здесь. Различные элементы компьютерной системы 900 могут взаимодействовать друг с другом

посредством одной или нескольких шин связи, каналов связи «точка-точка» или других средств связи, не изображенных явно на Фиг. 11.

[0060] Процессор 902 может включать в себя, например, центральное процессорное устройство (ЦПУ), микропроцессор, микроконтроллер, процессор цифровых сигналов (ПЦС) и/или один или несколько внутренних уровней кэша. Может быть один или несколько процессоров 902, так что процессор 902 содержит одно центральное процессорное устройство или множество процессоров, способных выполнять инструкции и выполнять операции параллельно друг с другом, обычно называемые средой параллельной обработки.

[0061] Компьютерная система 900 может представлять собой обычный компьютер, распределенный компьютер или компьютер любого другого типа, например, один или несколько внешних компьютеров, доступных через архитектуру облачных вычислений. Описанная в настоящем документе технология по выбору реализуется в программном обеспечении, хранящемся на устройстве(ах) хранения данных 904, хранящемся в запоминающем устройстве(ах) 906 и/или передаваемом через один или несколько портов 908-910, тем самым преобразуя компьютерную систему 900 на Фиг. 11, в машину специального назначения для выполнения описанных здесь операций. Примеры компьютерной системы 900 включают персональные компьютеры, терминалы, рабочие станции, мобильные телефоны, планшеты, ноутбуки, персональные компьютеры, мультимедийные консоли, игровые консоли, телевизионные приставки и т.п.

[0062] Одно или несколько устройств хранения данных 904 могут включать в себя любое энергонезависимое устройство хранения данных, способное хранить данные, сгенерированные или используемые в вычислительной системе 900, такие как исполняемые компьютером инструкции для выполнения компьютерного процесса, которые могут включать в себя инструкции обоих типов - прикладные программы и операционную систему (ОС), которая управляет различными компонентами вычислительной системы 900. Устройства хранения данных 904 могут включать, помимо прочего, приводы магнитных дисков, приводы оптических дисков, твердотельные накопители (ТТН), флэш-накопители и т.п. Устройства хранения данных 904 могут включать в себя съемные носители данных, несъемные носители данных и/или внешние устройства хранения данных, доступные через проводную или беспроводную сетевую архитектуру с такими компьютерными программными продуктами, включая один или несколько продуктов управления базами данных, продукты веб-серверов, продукты серверов приложений и/или другие дополнительные программные компоненты. Примеры

съемных носителей данных включают в себя постоянное запоминающее устройство на компакт-диске (CD-ROM), постоянное запоминающее устройство на цифровом универсальном диске (DVD-ROM), магнитооптические диски, флэш-накопители и т.п. Примеры несъемных носителей данных могут включать внутренние магнитные жесткие диски, твердотельные накопители и т.п. Одно или несколько запоминающих устройств 906 могут включать в себя энергозависимую память (например, динамическую оперативную память (ДОП), статическую оперативную память (СОП) и т.д.) и/или энергонезависимую память (например, постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), флэш-память и т. д.).

[0063] Компьютерные программные продукты, содержащие механизмы для реализации систем и способов в соответствии с описанной здесь технологией, могут постоянно находиться в устройствах хранения данных 904 и/или запоминающих устройствах 906, которые могут называться машиночитаемыми носителями. Следует понимать, что машиночитаемый носитель может включать в себя любой материальный энергонезависимый носитель, который способен хранить или кодировать инструкции для выполнения любой одной или более операций настоящего раскрытия для выполнения машиной или который способен хранить или кодировать структуры данных и/или модулей, используемых такими инструкциями или связанных с ними. Машиночитаемые носители могут включать в себя один или несколько носителей (например, централизованную или распределенную базу данных и/или связанные с ними кэши и серверы), которые хранят одну или несколько исполняемых инструкций или структур данных.

[0064] В некоторых вариантах осуществления компьютерная система 900 включает в себя один или несколько портов, таких как порт ввода/вывода 908, коммуникационный порт 910 и любые другие порты для связи с другими вычислительными, сетевыми или печатающими устройствами. Следует понимать, что порты 908-910 могут быть объединены или разделены, и что в компьютерную систему 900 может быть включено больше или меньше портов.

[0065] Порт ввода-вывода 908 может быть подключен к устройству ввода-вывода или другому устройству, с помощью которого информация вводится в вычислительную систему 900 или выводится из нее. Такие устройства ввода-вывода могут включать в себя, помимо прочего, одно или больше устройств ввода, устройств вывода и/или устройств преобразователей окружающей среды.

[0066] В одном варианте осуществления устройства ввода преобразуют сгенерированный человеком сигнал, такой как человеческий голос, физическое движение, физическое прикосновение или давление и/или тому подобное, в электрические сигналы в качестве входных данных в вычислительную систему 900 через порт ввода-вывода 908. Аналогично, устройства вывода могут преобразовывать электрические сигналы, полученные от вычислительной системы 900 через порт ввода-вывода 908, в сигналы, которые могут восприниматься человеком как выходные, такие как звук, свет и/или прикосновение. Устройство ввода может представлять собой буквенно-цифровое устройство ввода, включающее буквенно-цифровые и другие клавиши для передачи информации и/или выбора команд процессору 902 через порт ввода-вывода 908. Устройство ввода может быть другим типом пользовательского устройства ввода, включая, но не ограничиваясь: устройствами управления направлением и выбором, такими как мышь, трекбол, клавиши направления курсора, джойстик и/или колесо; один или несколько датчиков, таких как камера, микрофон, датчик положения, датчик ориентации, гравитационный датчик, инерционный датчик и/или акселерометр; и/или сенсорный экран дисплея («сенсорный экран»). Устройства вывода могут включать в себя, помимо прочего, дисплей, сенсорный экран, динамик, тактильное и/или гаптическое устройство вывода и/или т.п. В некоторых вариантах осуществления устройство вывода и устройство ввода могут быть одним и тем же устройством, например, в случае сенсорного экрана.

[0067] Устройства преобразователя окружающей среды преобразуют одну форму энергии или сигнала в другую для ввода в или вывода из вычислительной системы 900 через порт ввода-вывода 908. Например, электрический сигнал, генерируемый внутри вычислительной системы 900, может быть преобразован в другой тип сигнала и/или наоборот. В одном варианте осуществления преобразователи окружающей среды воспринимают характеристики или аспекты окружающей среды, локальные или удаленные от вычислительного устройства 900, такие как свет, звук, температура, давление, магнитное поле, электрическое поле, химические свойства, физическое движение, ориентация, ускорение, гравитация и/или тому подобное. Кроме того, устройства преобразователя окружающей среды могут генерировать сигналы для оказания некоторого воздействия на окружающую среду как локально, так и удаленно от примерного вычислительного устройства 900, например, физическое перемещение некоторого объекта (например, механического привода), нагрев или охлаждение вещества, добавление химического вещества и/или тому подобное.

[0068] В одном варианте осуществления коммуникационный порт 910 подключен к сети, посредством которой компьютерная система 900 может принимать сетевые данные, полезные при выполнении способов и систем, изложенных здесь, а также для передачи информации и изменений конфигурации сети, определенных таким образом. Другими словами, коммуникационный порт 910 соединяет компьютерную систему 900 с одним или несколькими интерфейсными устройствами связи, сконфигурированными для передачи и/или приема информации между вычислительной системой 900 и другими устройствами посредством одной или нескольких проводных или беспроводных сетей или соединений связи. Примеры таких сетей или соединений включают, помимо прочего, универсальную последовательную шину (USB), Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth®, связь ближнего действия (NFC), долговременное развитие (LTE) и так далее. Одно или несколько таких интерфейсных устройств связи могут использоваться через коммуникационный порт 910 для связи с одной или несколькими другими машинами либо непосредственно по каналу связи «точка-точка», либо через глобальную сеть (WAN) (например, Интернет), через локальную сеть (LAN), через сотовую сеть (например, третьего поколения (3G) или четвертого поколения (4G) или пятого поколения (5G)) или через другое средство связи. Кроме того, коммуникационный порт 910 может связываться с антенной для передачи и/или приема электромагнитного сигнала.

[0069] В примерном варианте осуществления инструкции печати и программное обеспечение, а также другие модули и службы для 3D-печати, а также генерации и осаждения капель расплавленного металла могут быть воплощены в виде инструкций, хранящихся на устройствах хранения данных 904 и/или запоминающих устройствах 906 и исполняемых процессором 902. Компьютерная система 900 может быть интегрирована или может иным образом составлять часть контроллера 110 или других компонентов системы 3D-печати 100.

[0070] Система, представленная на Фиг. 11 представляет собой лишь один возможный пример компьютерной системы, которая может использовать или быть сконфигурирована в соответствии с аспектами настоящего изобретения. Следует понимать, что могут быть использованы другие энергонезависимые материальные машиночитаемые носители данных, хранящие машиноисполняемые инструкции для реализации раскрытой здесь технологии в вычислительной системе.

[0071] В настоящем раскрытии раскрытые способы могут быть реализованы в виде наборов инструкций или программного обеспечения, читаемого устройством. Кроме того, понятно, что конкретный порядок или иерархия этапов в раскрытых способах являются

примерами подходов. На основании конструктивных предпочтений понятно, что конкретный порядок или иерархия этапов в способе могут быть изменены, оставаясь при этом в пределах раскрытого предмета изобретения. В сопроводительном методе представлены элементы различных этапов в порядке выборки и не обязательно ограничиваются конкретным представленным порядком или иерархией.

[0072] Описанное раскрытие может быть предоставлено в виде компьютерного программного продукта или программного обеспечения, которое может включать в себя энергонезависимый машиночитаемый носитель, имеющий хранящиеся на нем инструкции, которые могут использоваться для программирования компьютерной системы (или других электронных устройств) для выполнения процесса согласно настоящему раскрытию. Машиночитаемый носитель включает в себя любой механизм хранения информации в форме (например, программное обеспечение, приложение обработки), читаемой машиной (например, компьютером). Машиночитаемый носитель может включать в себя, помимо прочего, магнитный носитель информации, оптический носитель информации; магнитооптический носитель информации, постоянное запоминающее устройство (ПЗУ); оперативное запоминающее устройство (ОЗУ); стираемую программируемую память (например, EPROM и EEPROM); флэш-память; или другие типы носителей, подходящие для хранения электронных инструкций.

[0073] Хотя настоящее раскрытие было описано со ссылкой на различные осуществления, следует понимать, что эти осуществления являются иллюстративными, и что объем настоящего раскрытия не ограничивается ими. Возможны многочисленные вариации, модификации, дополнения и улучшения. В более общем смысле настоящее изобретение было описано в контексте конкретных реализаций в качестве неограничивающих примеров. Функциональные возможности могут быть разделены или объединены в блоки по-разному в различных вариантах осуществления изобретения или описаны с использованием различной терминологии. Эти и другие варианты, модификации, дополнения и усовершенствования могут находиться в пределах объема раскрытия, определенного в формуле изобретения, которая следует ниже.

Формула изобретения

Испрашивается

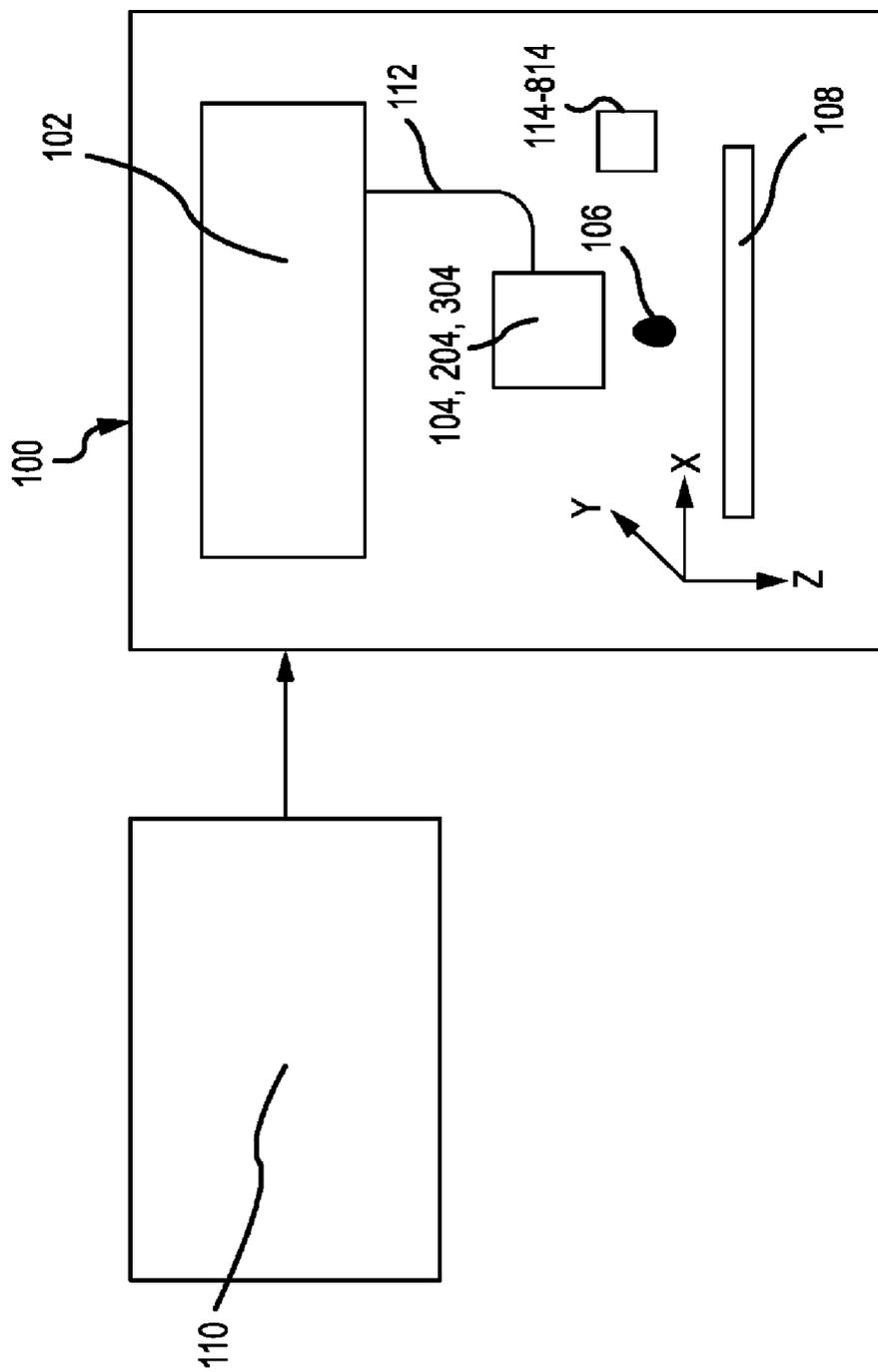
1. Способ трехмерной (3D) печати, включающий:
получение твердого металлического сырья;
отделение металлической массы от твердого металлического сырья путем приложения силы, при этом капля расплавленного металла формируется путем нагрева металлической массы, причем капля расплавленного металла движется по траектории к сборочной платформе; и
формирование трехмерной структуры путем осаждения капли расплавленного металла в заданном месте на сборочной платформе.
2. Способ по п.1, *отличающийся тем, что* сила представляет собой по меньшей мере одну из силы удара, силы сжатия или аэродинамической силы.
3. Способ по любому из пп.1-2, *отличающийся тем, что* твердое металлическое сырье включает по меньшей мере одно из стержня, ленты, порошка или проволоки.
4. Способ по любому из пп.1-3, *отличающийся тем, что* металлическую массу плавят перед отделением от твердого металлического сырья.
5. Способ по любому из пп.1-4, *отличающийся тем, что* металлическую массу плавят после отделения от твердого металлического сырья.
6. Способ по любому из пп.1-5, *отличающийся тем, что* металлическую массу плавят в полете вдоль траектории.
7. Способ по любому из пп.1-6, *отличающийся тем, что* капля расплавленного металла имеет по меньшей мере одно из: заданной скорости, заданного положения или заданной массы.
8. Способ по любому из пп.1-7, *отличающийся тем, что* дополнительно формируют металлические частицы путем отделения металлической массы от твердого металлического сырья; и выталкивают металлические частицы по траектории со скоростью.
9. Способ по любому из пп.1-8, *отличающийся тем, что* металлическую массу плавят с использованием первого источника тепла для образования капли расплавленного металла, причем второй источник тепла подает дополнительное тепло к капле расплавленного металла до тех пор, пока не будет достигнута заданная температура.
10. Способ по п. 9, *отличающийся тем, что* определяют температуру капли расплавленного металла после прохождения первого источника тепла, причем

дополнительное тепло, подаваемое вторым источником тепла, определяют на основе температуры капли расплавленного металла.

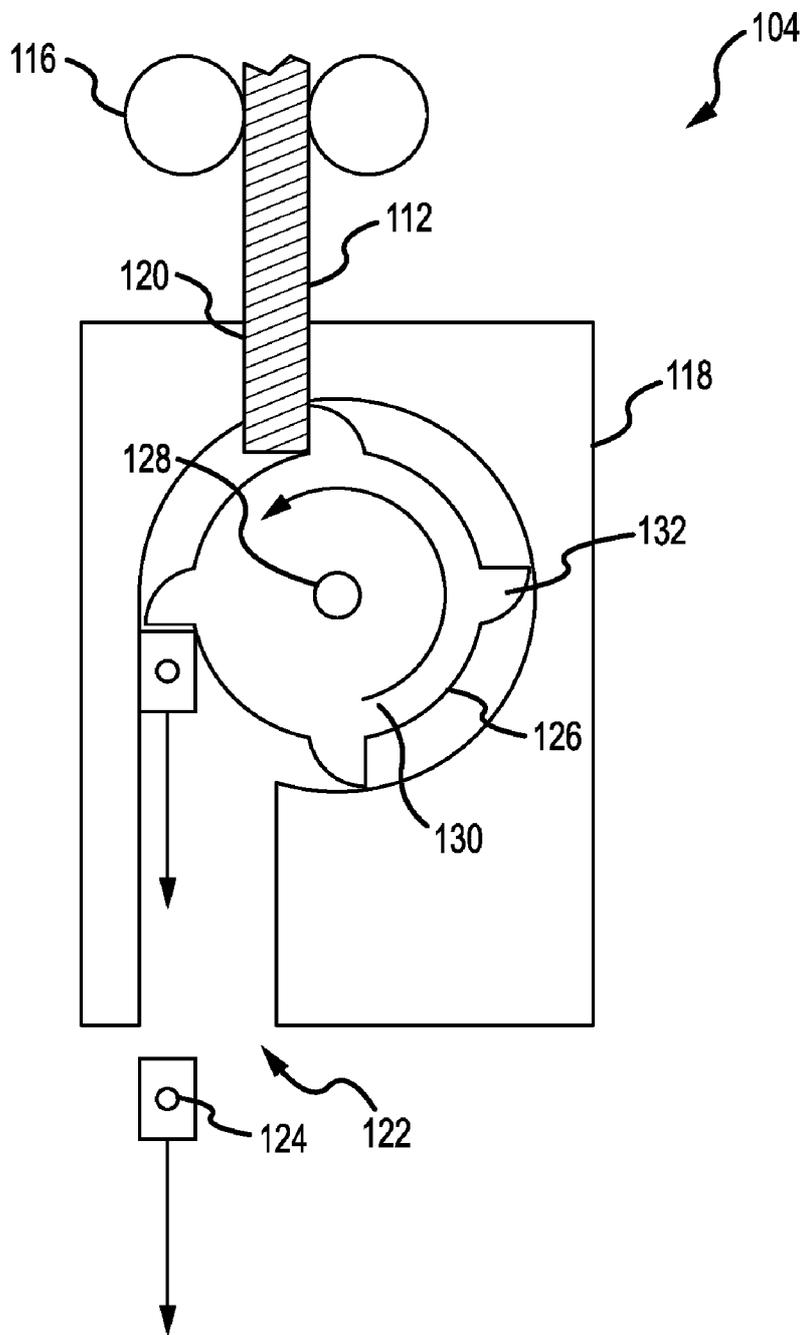
11. Способ по любому из пп. 1-10, *отличающийся тем, что* дополнительно формируют расплавленную сферу из металлической массы; отделяют расплавленную сферу от твердого металлического сырья путем приложения силы; и выпускают расплавленную сферу в виде капли расплавленного металла вдоль траектории.
12. Способ по любому из пп.1-11, *отличающийся тем, что* силу прикладывают с использованием по меньшей мере одного из подвижной контактной поверхности в качестве ударной силы или потока газа в качестве аэродинамической силы.
13. Система, адаптированная для выполнения способа по любому из пп. 1-12, содержащая:
 - привод, предназначенный для продвижения твердого металлического сырья;
 - печатающую головку, предназначенную для приема твердого металлического сырья;
 - по меньшей мере один источник тепла, способный нагревать металлическую массу;
 - и
 - сборочную платформу, способную принимать каплю расплавленного металла в заданном месте.
14. Система по п.13, *отличающаяся тем, что* дополнительно содержит:
 - измельчитель, расположенный в печатающей головке и выполненный с возможностью отделения металлической массы от твердого металлического сырья, причем металлическая масса высвобождается через выходное отверстие печатающей головки в виде металлических частиц со скоростью.
15. Система по п. 13, *отличающаяся тем, что* дополнительно содержит:
 - измельчитель, содержащий корпус с одним или несколькими зубцами, отходящими радиально наружу от корпуса, причем печатающая головка содержит рамку, содержащую входное и выходное отверстия, при этом измельчитель расположен в рамке и выполнен с возможностью вращения вокруг центральной оси, так что зубцы отделяют часть твердого металлического сырья, проходящего через входное отверстие в виде металлической массы, и высвобождает металлическую массу через выходное отверстие в виде металлической частицы.
16. Система по п.13, *отличающийся тем, что* дополнительно содержит:
 - измельчитель, содержащий верхнюю поверхность с одним или несколькими отверстиями и нижнюю поверхность, отделенную от верхней поверхности для

создания объема между ними, печатающую головку, содержащую рамку, включающую входное и выходное отверстия, причем измельчитель вращается вокруг центральной оси так, что верхняя поверхность отделяет часть твердого металлического сырья, проходящего через входное отверстие в виде металлической массы, и высвобождает металлическую массу через выходное отверстие в виде металлических частиц.

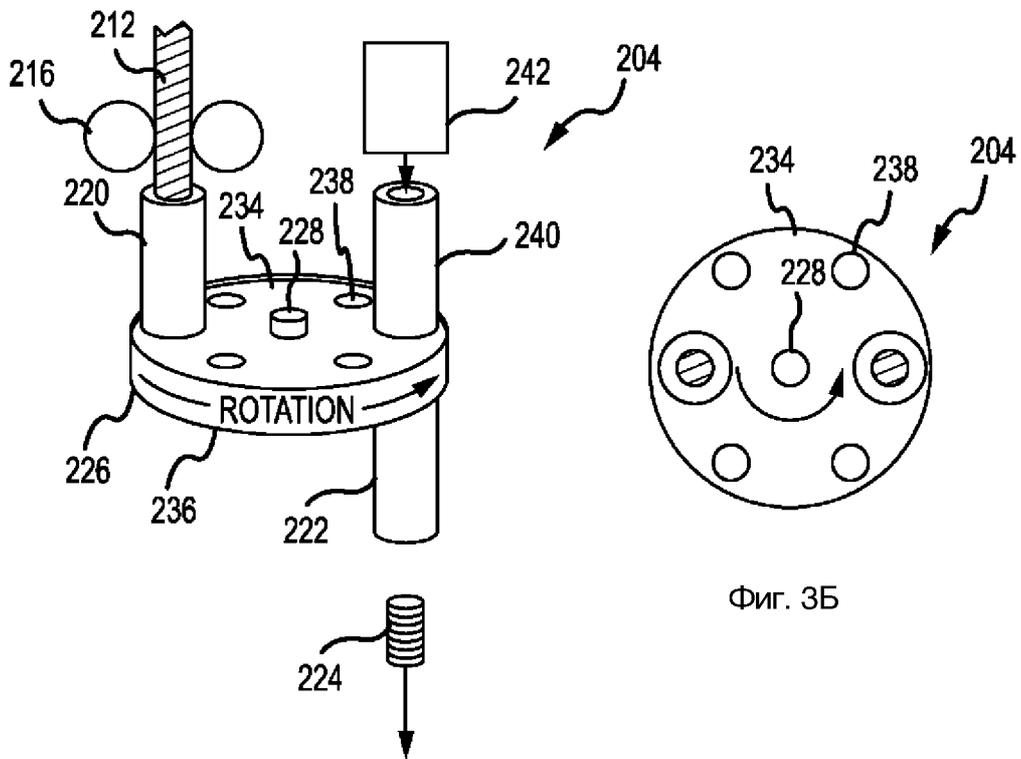
17. Система по любому из пп.13-16, *отличающаяся тем, что* по меньшей мере один источник тепла содержит одно или более из: лазерных лучей, индукционной катушки, плазменной дуги, генерируемой одним или более электродами, одной или более нагретых пластин, которые нагревают часть за счет проводимости, по меньшей мере два вращающихся колеса, выполненных с возможностью вращения в противоположных направлениях и смещенных под разными напряжениями, и по меньшей мере два провода, смещенных под разными напряжениями.
18. Система по любому из пп.13-17, *отличающаяся тем, что* по меньшей мере один источник тепла использует резистивный нагрев для плавления металлической массы.
19. Система по любому из пп.13-18, *отличающаяся тем, что* по меньшей мере один источник тепла плавит металлическую массу для образования расплавленной сферы, причем система дополнительно содержит подвижную контактную поверхность, причем подвижная контактная поверхность выполнена с возможностью отделения расплавленной сферы от твердого металлического сырья и выпуска расплавленной сферы в виде капли расплавленного металла.
20. Система по любому из пп.13-19, *отличающийся тем, что* твердое металлическое сырье проходит через направляющий канал, причем конец направляющего канала содержит подвижную контактную поверхность.
21. Система по любому из пп.13-19, *отличающийся тем, что* твердое металлическое сырье проходит через направляющий канал, а отдельный компонент расположен вблизи конца направляющего канала, при этом отдельный компонент содержит контактную поверхность.
22. Система по любому из пп.13-21, *отличающийся тем, что* контактная поверхность является по меньшей мере одной плоской или вогнутой.



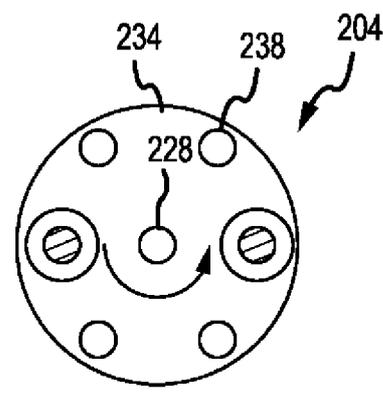
Фиг. 1



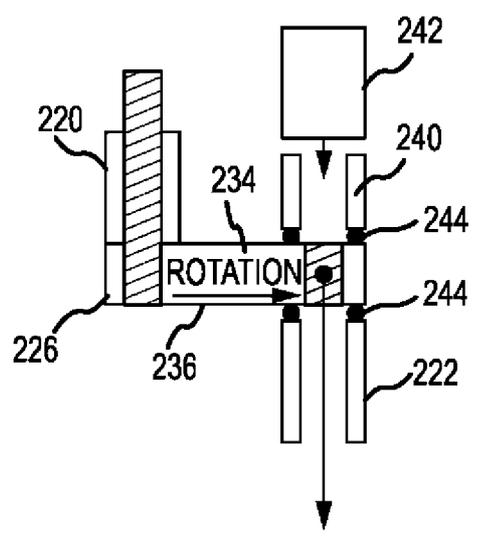
Фиг. 2



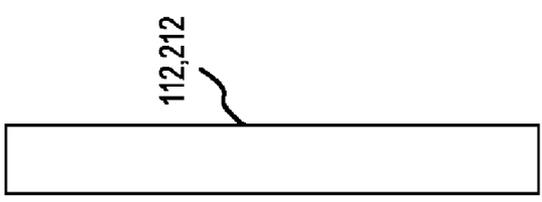
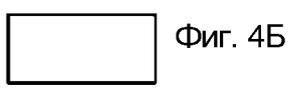
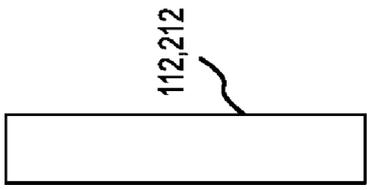
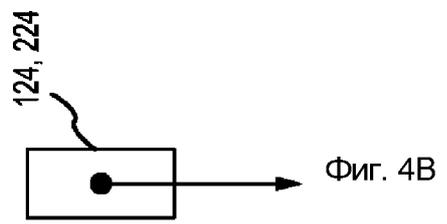
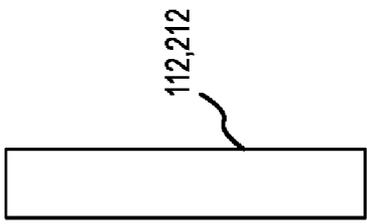
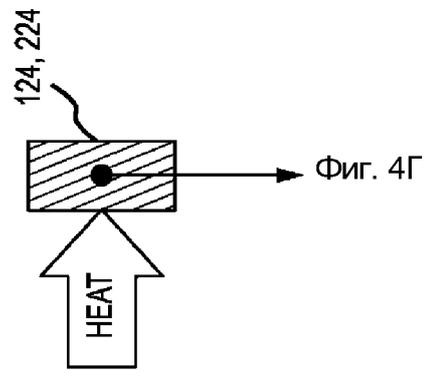
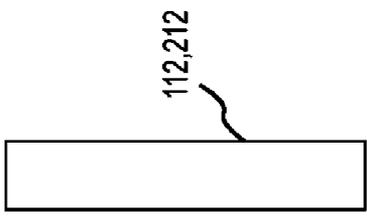
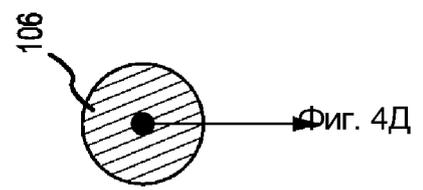
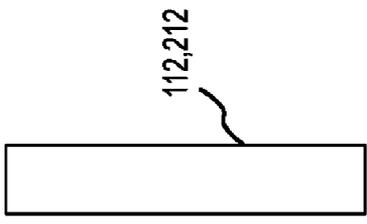
Фиг. 3А



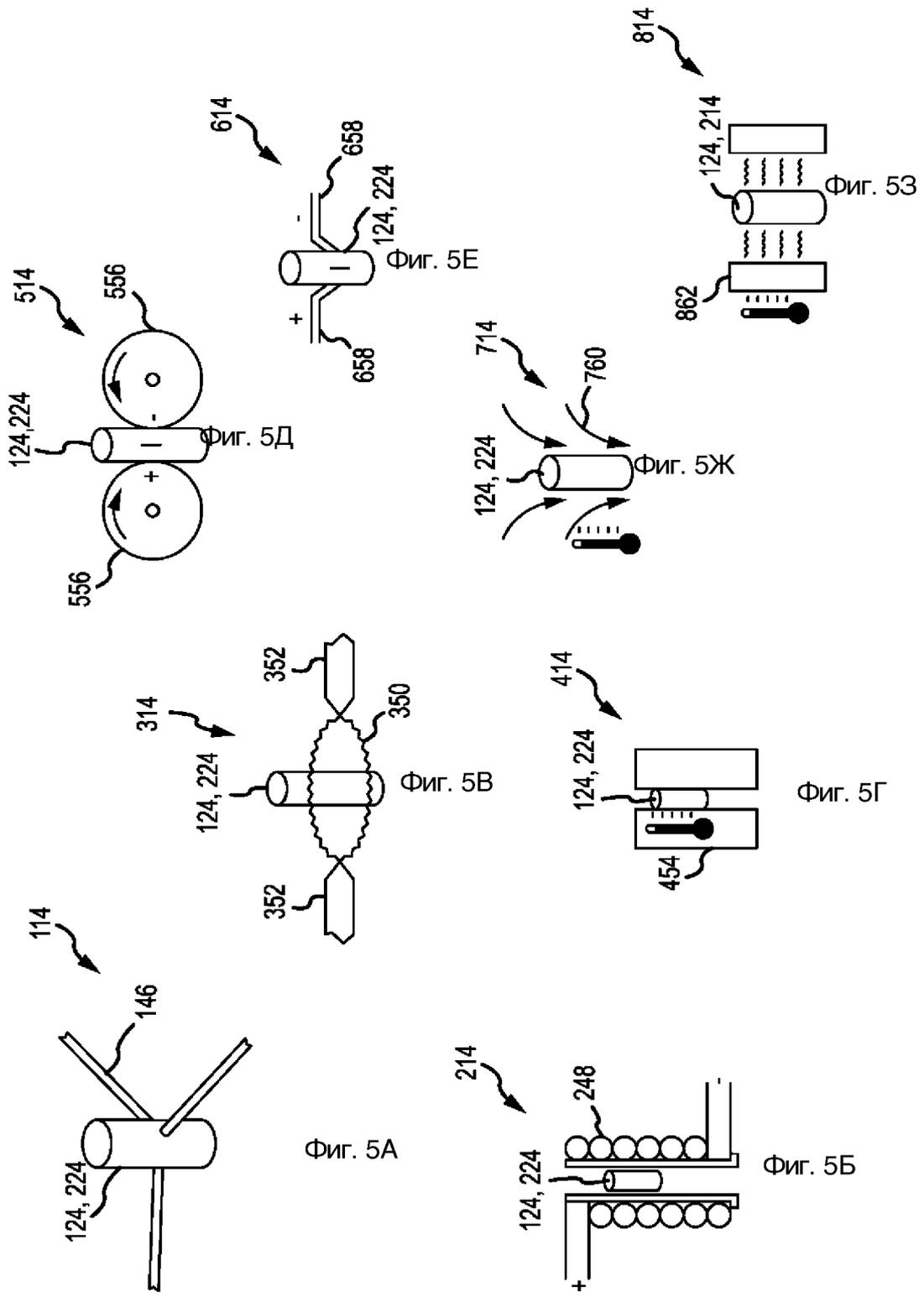
Фиг. 3Б

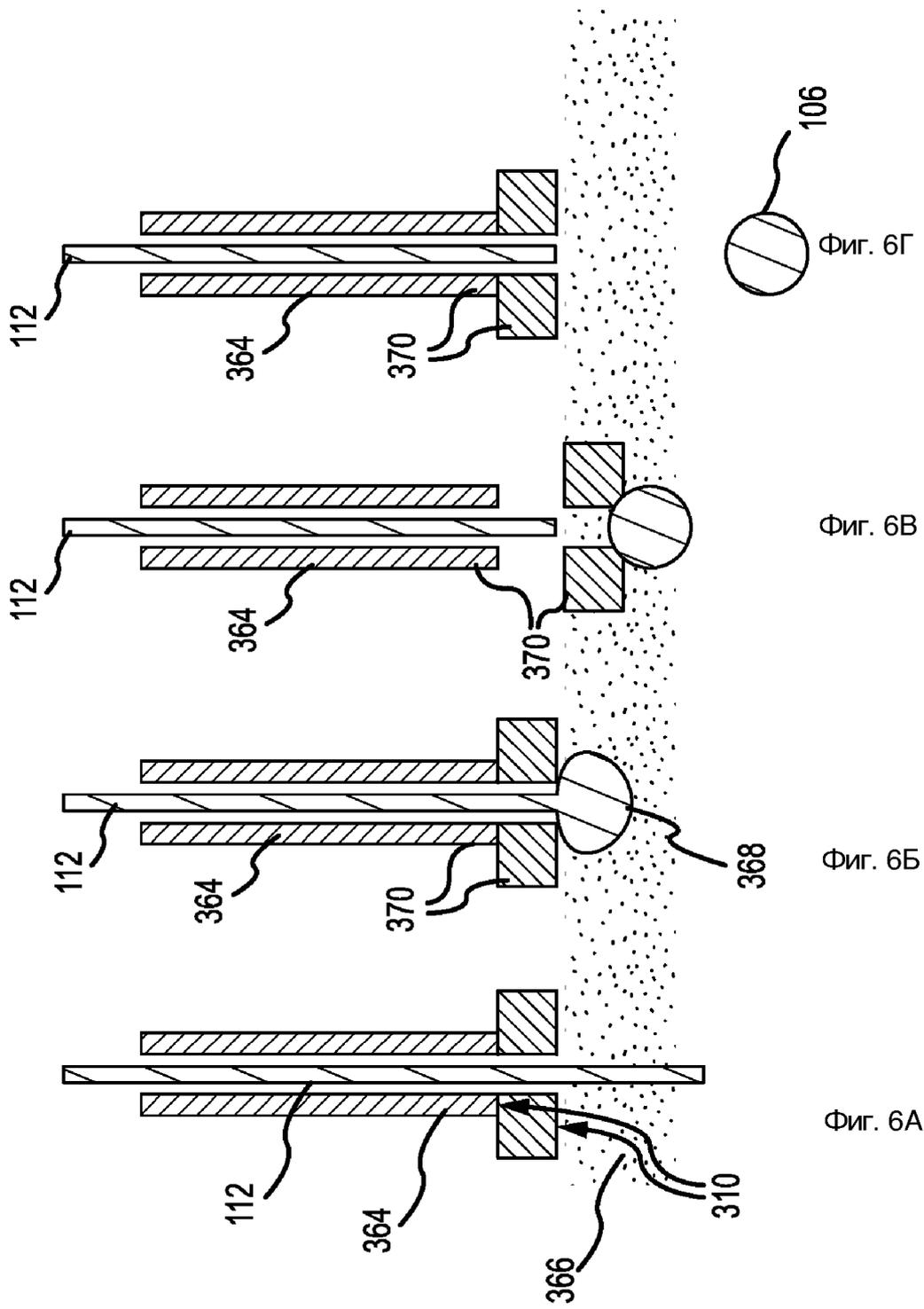


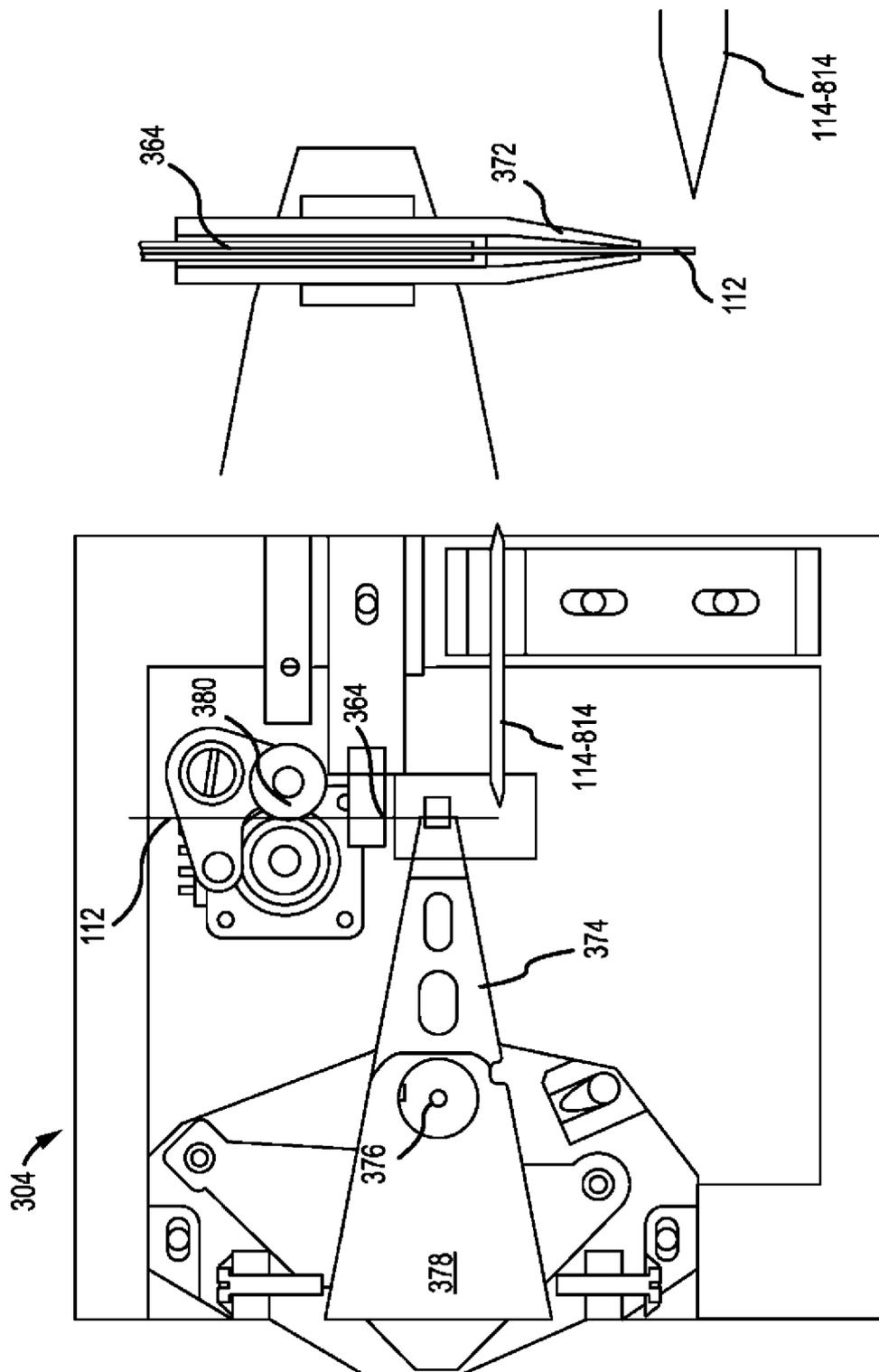
Фиг. 3В



Фиг. 4А

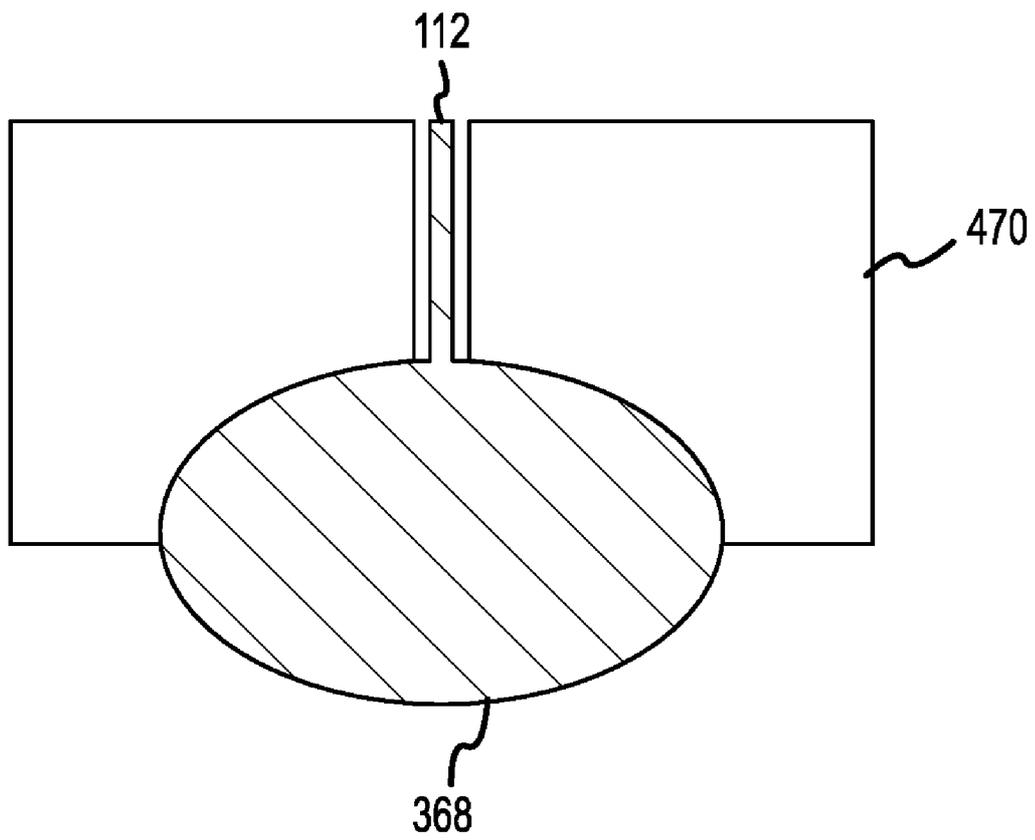




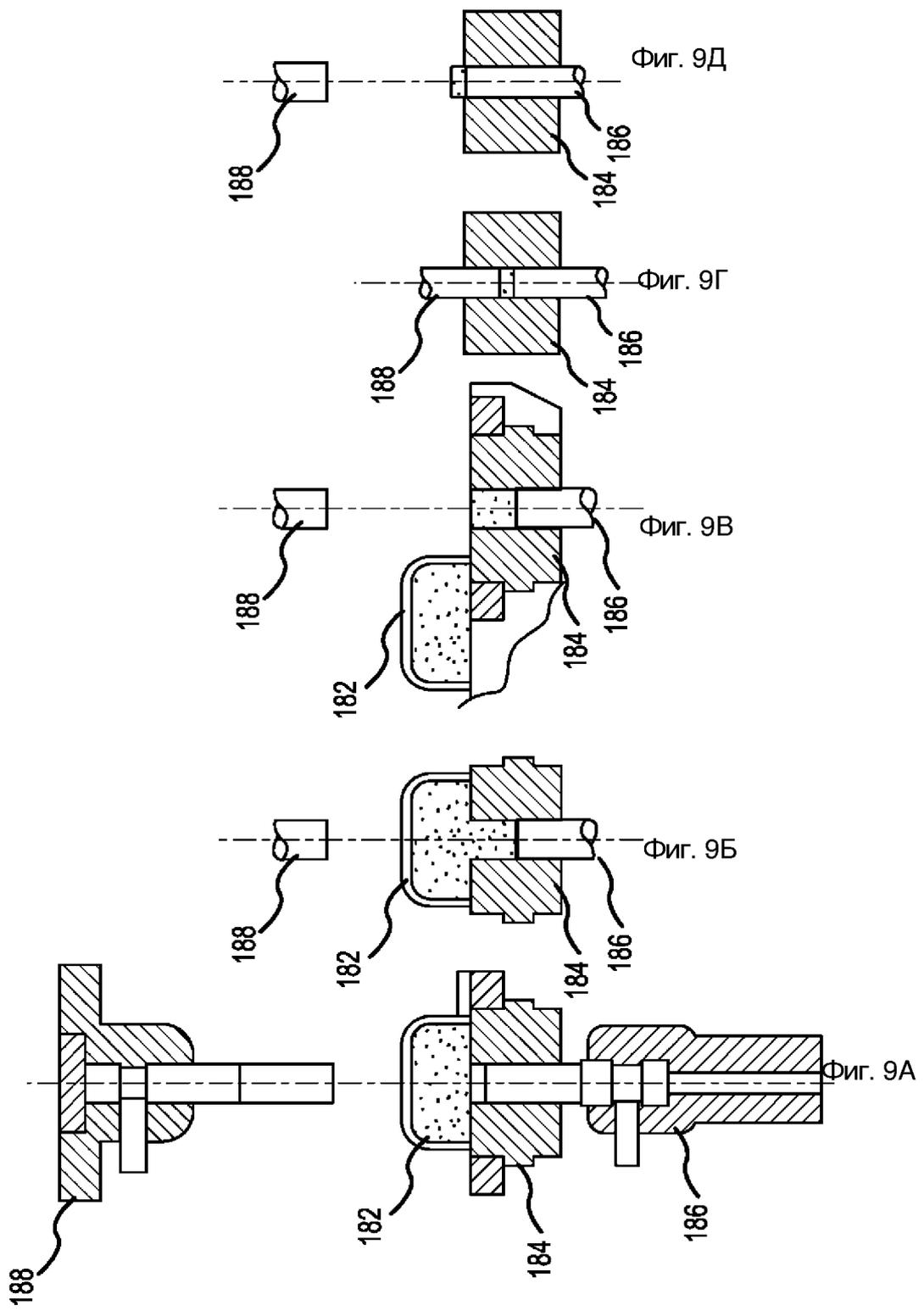


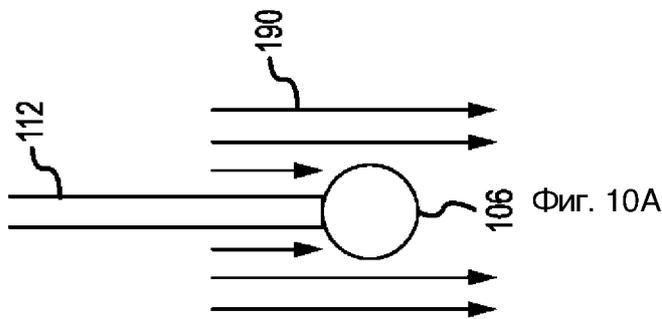
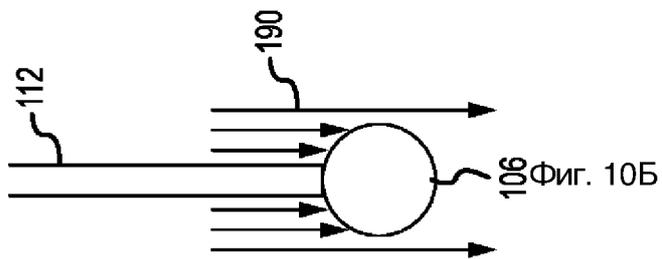
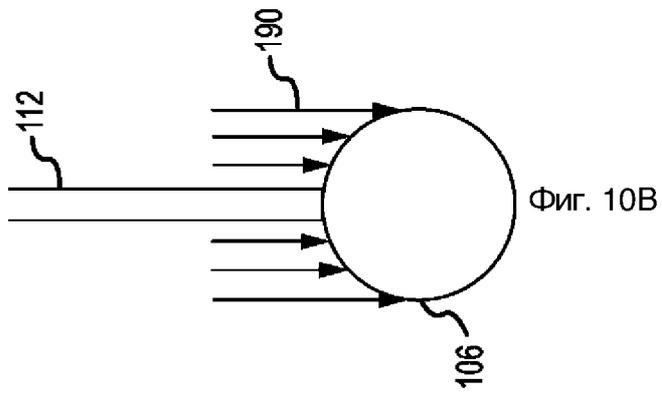
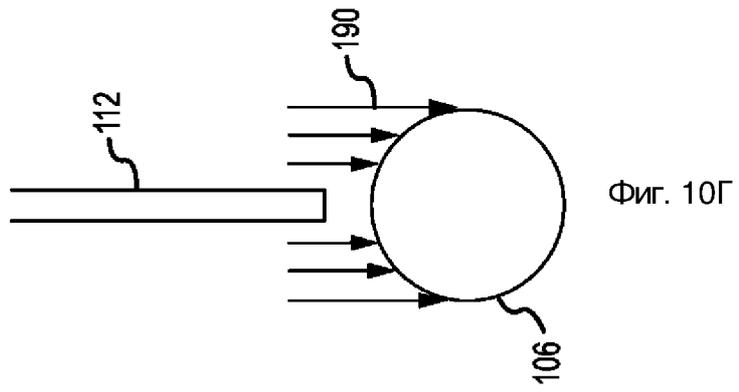
Фиг. 7Б

Фиг. 7А



Фиг. 8







Фиг. 11