

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(21) **202300021** (13) **A1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2023.05.31

(22) Дата подачи заявки
2021.08.31

(51) Int. Cl. *B22F 3/115* (2006.01)
B33Y 50/02 (2015.01)
B33Y 30/00 (2015.01)
B22F 3/00 (2021.01)
B33Y 10/00 (2015.01)

(54) УЛУЧШЕННАЯ СИСТЕМА ОСАЖДЕНИЯ МЕТАЛЛА

(31) 63/074,261

(32) 2020.09.03

(33) US

(86) PCT/US2021/048437

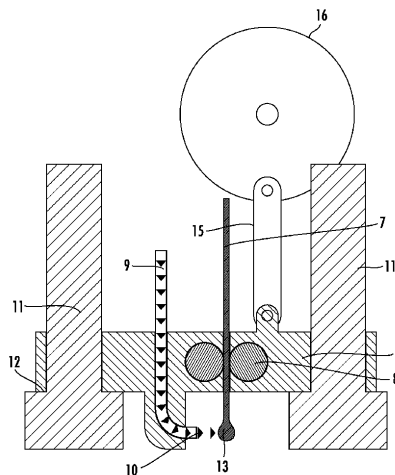
(87) WO 2022/051275 2022.03.10

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

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

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

(57) Система создания капель расплавленного металла. Система может быть использована для 3D-печати. Система основана на изменении импульса капли относительно кончика металлической микропроволоки, что приводит к отделению капли от кончика металлической микропроволоки. Изменение импульса может быть создано с использованием колеблющейся печатающей головки. В других вариантах осуществления масса ударяется о печатающую головку, вызывая отделение капли от металлической микропроволоки. Металлическая микропроволока может быть нагрета с использованием источника тепла, такого как лазер, индукционная катушка или плазменная дуга.



202300021
A1

202300021

A1

УЛУЧШЕННАЯ СИСТЕМА ОСАЖДЕНИЯ МЕТАЛЛА

Настоящей заявкой испрашивается приоритет предварительной заявки на патент США 63/074,261, поданной 3 сентября 2020 г., раскрытие которой полностью включено в настоящее описание посредством ссылки.

Область изобретения

Варианты осуществления настоящего раскрытия относятся к устройствам, системам, способам и процессам для генерирования или создания капель расплавленного металла по требованию для аддитивного производства, послойного создания объектов и деталей, 3D-печати или печати жидким металлом.

Уровень техники изобретения

В области печати жидким металлом капли расплавленного металла используются для создания трехмерных (3D) деталей и объектов путем послойного нанесения капель на сборочную платформу. Обычно используются различные процессы.

Один из таких процессов отделяет каплю расплавленного металла от кончика металлической микропроволоки с помощью импульсов лазерной энергии, испаряющих часть расплавленного металла в канале или трубке, действующей как сопло, и направляя движимую испарением каплю расплавленного металла по желаемой траектории.

Другие процессы обычно включают в себя резервуары, тигли, бассейны или другие емкости с расплавленным металлом, из которых образуются капли с использованием одного сопла или, в некоторых случаях, нескольких сопел. Для коммерчески жизнеспособного процесса производства металлических добавок любые тигли, питающие одно или несколько сопел, создают множество проблем, включая:

- постоянство и повторяемость траектории движения капель расплавленного металла;
- падение по заданному требованию в сценарии с несколькими соплами;
- масштабируемость пропускной способности металла;
- высокотемпературные материалы;
- сложность систем управления;
- объем и периодичность технического обслуживания; и
- время между сбоями.

Как отмечалось выше, у этих процессов есть недостатки. Следовательно, было бы выгодно, если бы существовали система и способ, позволяющие создавать капли расплавленного металла без использования бассейнов с расплавленным металлом и сопел. Кроме того, было бы выгодно, если бы эта система и способ не полагались на направляющий канал или испарение металла.

Краткое изложение изобретения

Раскрыты система и способ создания капель расплавленного металла. Система может быть использована для 3D-печати. Система основана на изменении импульса капли относительно кончика металлической микропроволоки, чтобы заставить каплю отделиться от кончика металлической микропроволоки. Изменение импульса может быть создано с помощью колеблющейся печатающей головки. В других вариантах осуществления масса ударяется о печатающую головку, вызывая отделение капли от металлической микропроволоки. Металлическая микропроволока может быть нагрета с использованием источника тепла, такого как лазер, индукционная катушка или плазменная дуга.

Согласно одному варианту осуществления раскрыта система для формирования капель расплавленного металла по заданному требованию. Система содержит каретку; исполнительный механизм, в котором продвигается металлическая микропроволока; источник тепла, расположенный вблизи кончика металлической микропроволоки, тем самым заставляя кончик металлической микропроволоки нагреваться выше точки плавления, так что образуется капля; и механизм для создания изменения в импульсе каретки, в котором изменение импульса капли относительно кончика металлической микропроволоки приводит к отделению капли от кончика металлической микропроволоки. В некоторых вариантах осуществления система дополнительно содержит подложку для приема капли, при этом подложка подвижна относительно каретки в направлении X, Y и Z. В некоторых вариантах осуществления каретка расположена между линейными направляющими таким образом, что перемещение каретки ограничено линейными направляющими в одном направлении. В некоторых вариантах осуществления изменение импульса капли относительно кончика металлической микропроволоки достигается колебательным движением каретки внутри линейных направляющих. В некоторых вариантах осуществления изменение импульса капли относительно кончика металлической микропроволоки достигается колебательным движением каретки с жестким упором в линейные направляющие. В некоторых вариантах

осуществления изменение импульса капли относительно кончика металлической микропроволоки достигается путем передачи импульса капле массой, ударяющейся о каретку. В некоторых вариантах осуществления источник тепла содержит лазер для испускания лазерного луча. В некоторых вариантах осуществления свет от лазера подается в область, ближайшую к кончику металлической микропроволоки, по волоконно-оптическому кабелю. В некоторых вариантах осуществления волоконно-оптический кабель содержит линзу для фокусирования лазерного луча на кончике металлической микропроволоки. В некоторых вариантах осуществления источник тепла содержит индукционную катушку, расположенную вокруг кончика металлической микропроволоки. В некоторых вариантах осуществления источник тепла содержит два электрода, при этом напряжение подается по меньшей мере на один из двух электродов для создания плазменной дуги вблизи кончика металлической микропроволоки. В некоторых вариантах осуществления источник тепла содержит электрод, при этом напряжение подается по меньшей мере на один из электродов и металлической микропроволоки для создания плазменной дуги вблизи кончика металлической микропроволоки. В определенных вариантах осуществления система содержит, по меньшей мере, второй исполнительный механизм, в котором имеется множество источников подачи металлической микропроволоки, каждый из которых подается своим собственным соответствующим исполнительным механизмом, и каждый расплавляется источником тепла, при этом каждая капля отделяется из-за изменения импульса капли относительно соответствующей металлической микропроволоки. В определенных вариантах осуществления источник тепла прикреплен к каретке, и исполнительный механизм подает металлическую микропроволоку к источнику тепла во время перемещения каретки. В некоторых вариантах осуществления источник тепла прикреплен к одной из линейных направляющих таким образом, что источник тепла не перемещается вместе с кареткой. В определенных вариантах осуществления каретка перемещается в направлении вверх и вниз. В некоторых вариантах осуществления исполнительный механизм установлен на каретке. В некоторых вариантах осуществления источник тепла сконструирован таким образом, что количество и скорость тепловой энергии, подаваемой на наконечник металлической микропроволоки, таковы, что металлическая микропроволока над наконечником остается твердой. В определенных вариантах осуществления металлическая микропроволока над наконечником остается твердой из-за активного регулирования температуры металлической микропроволоки, такой как теплопроводность или конвекция.

Краткое описание чертежей

Для лучшего понимания настоящего раскрытия дается ссылка на прилагаемые чертежи, которые включены сюда в качестве ссылки и на которых:

На фиг. 1 показано устройство для осаждения расплавленного металла согласно одному варианту осуществления; и

На фиг. 2 показана печатающая головка согласно одному варианту осуществления;

На фиг. 3 показана печатающая головка согласно второму варианту осуществления;

На фиг. 4А-4Г показан один механизм отделения капли от металлической микропроволоки;

На фиг. 5А-5Г показан второй механизм отделения капли от металлической микропроволоки;

На фиг. 6А-6Г показан третий механизм отделения капли от металлической микропроволоки;

На фиг. 7А-7Б показана печатающая головка согласно другому варианту осуществления;

На фиг. 8 показана печатающая головка со стационарным источником тепла; и

На фиг. 9А-9Г показан один механизм нагрева и отделения капли от металлической микропроволоки с использованием стационарного источника тепла.

Подробное описание изобретения

На фиг. 1 показано устройство, создающее капли расплавленного металла. Эти капли расплавленного металла используются для создания трехмерных (3D) деталей и объектов путем послойного нанесения капель на сборочную платформу.

Устройство содержит один или более источников 1 металлической проволоки. Этими источниками 1 металлической проволоки могут быть картриджи, катушки или расходные материалы с металлическими микропроводами. В варианте осуществления, где используется более одного источника 1 металлической проволоки, эти источники 1 металлической проволоки могут содержать одинаковые или разные типы металлической микропроволоки. Печатающая головка 2 соединена с источниками 1 металлической

проволоки. Печатающая головка 2 генерирует капли 3 расплавленного металла, которые выбрасываются в сторону сборочной платформы 4, на которой из слоев создаются металлические детали.

Контроллер 5, такой как компьютер, сервер, специализированный микроконтроллер или другое подходящее устройство обработки данных, подает команды в устройство. Контроллер 5 может быть непосредственно подключен к устройству или может обмениваться данными через сеть или Интернет.

Команды от контроллера к устройству выводятся из желаемой создаваемой детали. Желаемая деталь нарезается на множество участков поперечного сечения, каждый из которых соответствует одному из слоев, из которых устройство будет формировать деталь.

Диаметр металлической микропроволоки 7 может находиться в диапазоне от 50 до 3000 микрометров. Продвижение металлической микропроволоки 7 от источника 1 металлической проволоки к печатающей головке 2 может быть достигнуто за счет использования пьезо исполнительного механизма, шагового двигателя или звуковой катушки. В некоторых вариантах осуществления имеется единственный исполнительный механизм для продвижения металлической микропроволоки. В других вариантах осуществления может использоваться несколько исполнительных механизмов, работающих совместно.

Печатающая головка 2 может содержать один генератор капель расплавленного металла или ряд генераторов капель расплавленного металла, каждый из которых снабжен металлической микропроволокой одного типа или металлической микропроволокой разных типов. Печатающая головка 2 выбрасывает капли 3 расплавленного металла в сторону сборочной платформы 4 посредством использования генераторов капель расплавленного металла. Печатающая головка 2 способна выбрасывать капли с максимальной частотой. Минимальное время между каплями можно назвать циклом генерирования капель. Кроме того, печатающая головка 2 способна пропускать одну или несколько капель, что также называется каплей по требованию. В плоскости XY печатающая головка 2 и сборочная платформа 4 перемещаются относительно друг друга либо по векторной траектории, либо по траектории движения инструмента, либо по типу растрового сканирования. Выпущенные капли 3 расплавленного металла укладываются слоем в соответствии с командой, посылаемой контроллером 5. Как отмечалось выше, трехмерная деталь или объект создается из множества слоев. Печатающая головка 2 и сборочная платформа 4 также могут быть расположены относительно друг друга в направлении Z.

На фиг. 2 показан расширенный вид печатающей головки 2. Печатающая головка 2 включает в себя каретку 6, которая удерживает металлическую микропроволоку 7. Каретка 6 удерживается линейными направляющими 11, расположенными на противоположных сторонах каретки 6. Каретка 6 имеет возможность перемещаться относительно линейных направляющих 11, например, в направлении вверх и вниз. В определенных вариантах осуществления линейные направляющие 11 ограничивают перемещение каретки только в одном направлении, таком как вверх и вниз, влево и вправо или вперед и назад. Например, стержень 15 или другой жесткий элемент может быть использован для соединения каретки 6 с вращающимся компонентом 16, таким как цилиндр. Вращающийся компонент 16 может приводиться в действие двигателем с фиксированной или переменной частотой вращения. Стержень 15 соединен с вращающимся компонентом 16 в месте, не являющимся осью вращения. Центр вращающегося компонента 16 зафиксирован, так что вращение вращающегося компонента 16 вызывает возвратно-поступательное движение стержня 15, вызывая перемещение каретки 6 относительно линейных направляющих 11. Вращающийся компонент 16 может вращаться в максимальной частоте печатающей головки, при которой каретка 6 перемещается вверх и вниз для генерирования каждой капли. В некоторых вариантах осуществления каретка 6 может перемещаться в направлениях X или Y относительно линейных направляющих 11.

Внутри каретки 6 может быть один или несколько исполнительных механизмов 8 для продвижения металлической микропроволоки 7 через каретку 6. В некоторых вариантах осуществления исполнительные механизмы 8 могут быть расположены на каретке 6. В других вариантах осуществления исполнительные механизмы 8 могут располагаться вне каретки 6, и в этом случае каретка 6 может соединяться с исполнительным механизмом 8 с помощью гибкого приводного вала. Исполнительными механизмами 8 могут быть пьезоэлектрические устройства или двигатели. Металлическая микропроволока 7 продвигается таким образом, что расстояние продвижения можно контролировать.

Для нагрева кончика металлической микропроволоки 7 можно использовать множество различных источников тепла для образования металлической капли 13.

В одном варианте осуществления световод 9, такой как волоконно-оптический кабель, может быть расположен рядом с кареткой 6. Свет в виде лазерного луча может проходить через световод 9. Световод 9 может иметь изогнутую форму, таким образом, чтобы лазерный луч фокусировался на конце металлической микропроволоки 7. Волоконно-оптический кабель может включать линзу 10 для фокусирования выходящего

луча на кончике металлической микропроволоки 7. Энергия лазерного луча может привести к переходу кончика металлической микропроволоки 7 из твердого состояния в жидкое, образуя каплю.

В другом варианте осуществления лазер может не использоваться. Вместо этого можно использовать другой источник тепла, такой как индукционная катушка, для нагрева кончика металлической микропроволоки 7 для создания жидкости. Этот вариант осуществления показан на фиг. 3. Аналогичным компонентам присвоены одинаковые позиционные обозначения. В этом варианте осуществления лазер заменен индукционной катушкой 14, которая может охватывать кончик металлической микропроволоки 7. Когда к индукционной катушке 14 прикладывается определенное количество энергии, как определено в соответствии со свойствами индукционной катушки 14 и материала, диаметра и длины металлической микропроволоки внутри него, наконечник металлической микропроволоки 7 нагревается и переходит в жидкое состояние.

В другом варианте осуществления источником тепла, используемым для расплавления кончика металлической микропроволоки 7, может быть не лазер или индукционная катушка, а плазменная дуга. Варианты осуществления, в которых используется плазменная дуга 19, показаны на фиг. 7А-7Б. Аналогичным компонентам присвоены одинаковые позиционные обозначения. В варианте осуществления, показанном на фиг. 7А, плазменная дуга 19 создается между двумя электродами 18 за счет приложения электрического потенциала к зазору между электродами 18, который может быть заполнен или не заполнен газом, отличным от воздуха, таким как защитный газ. Напряжение, подаваемое на электроды 18, может быть напряжением переменного или постоянного тока. Величина напряжения может быть определена, исходя из расстояния между электродами 18, толщины металлической микропроволоки 7 и типа используемого металла. Напряжение может быть приложено к одному электроду или к обоим электродам. Специалисты в данной области могут легко определить соответствующую величину напряжения на основе этих параметров. Плазменная дуга 19 достаточно горячая, чтобы расплавить металлическую микропроволоку 7 из твердого состояния в жидкое. Кончик металлической микропроволоки 7 продвигается в плазменную дугу 19, которая нагревает и переводит металлическую микропроволоку 7 в жидкое состояние.

В варианте осуществления, показанном на фиг. 7Б, кончик металлической микропроволоки 7 служит одним из двух электродов 18, создающих плазменную дугу 19, которая также нагревает и переводит металлическую микропроволоку 7 в жидкое состояние. В некоторых вариантах осуществления металлическая микропроволока 7 заземлена, а на электрод 18 подается напряжение, которое может быть напряжением

переменного или постоянного тока. Кроме того, напряжение, подаваемое на электрод 18, может быть положительным или отрицательным. В других вариантах осуществления это напряжение может быть приложено к металлической микропроволоке 7. В еще других вариантах осуществления напряжения приложены как к металлической микропроволоке 7, так и к электроду 18. Эти напряжения могут быть переменными или постоянными, положительными или отрицательными и могут различаться по величине.

В некоторых вариантах осуществления источник тепла сконструирован таким образом, что количество и скорость тепловой энергии, подаваемой на кончик металлической микропроволоки 7, таковы, что металлическая микропроволока 7 над наконечником остается твердой. В других вариантах осуществления металлическая микропроволока над наконечником остается твердой благодаря активному управлению температурой металлической микропроволоки 7, например, посредством теплопроводности или конвекции.

Во всех вариантах осуществления размер каплей регулируется расстоянием, на которое металлическая микропроволока 7 продвигается посредством исполнительного механизма 8. В некоторых вариантах осуществления металлические капли 13 могут иметь диаметр в диапазоне от 150 до 3000 микрон. Кроме того, одна или несколько капель могут быть пропущены из-за отсутствия продвижения металлической микропроволоки 7.

В некоторых вариантах осуществления на линейной направляющей 11 может быть предусмотрен жесткий упор 12.

Металлическая капля 13 может быть отделена от кончика металлической микропроволоки 7 за счет изменения импульса. Описаны три различных варианта осуществления, каждый из которых способен создавать изменения импульса, которые сообщают металлической капле 13 силу, которая может превышать 10G. В некоторых вариантах осуществления сила превышает 100G. В некоторых вариантах осуществления сила, приложенная к металлической капле 13, может составлять порядка 1000G или более, что сводит к минимуму влияние гравитации на ориентацию отделения капли и последующую траекторию.

В первом варианте осуществления, показанном на фиг. 4А-4Г, металлическая капля 13 высвобождается с помощью колебаний. Во-первых, как показано на фиг. 4А, каретка 6 начинает двигаться в первом колебательном направлении из-за вращения вращающегося компонента 16. Это может быть направление вниз. Как показано на фиг. 4Б, пока каретка 6 движется в первом колебательном направлении, металлическая микропроволока 7 продвигается с помощью исполнительного механизма 8, и кончик проволоки плавится из твердой фазы в жидкую. Количество металла, образующего каплю, определяется

скоростью исполнительного механизма 8, скоростью каретки 6 и диаметром микропроволоки. Капля расплавленного металла получает направление движения. В конце колебательного движения, показанного на фиг. 4В, каретка 6 замедляется, меняет направление и снова ускоряется в противоположном втором направлении. Степень замедления, степень ускорения, скорость и расстояние, пройденное для колебательного движения, выбираются в соответствии с диаметром микропроволоки, диаметром и массой капли, чтобы вызвать отделение металлической капли 13 от металлической микропроволоки 7 и гарантировать продолжение движения металлической капли 13 в направлении, полученном во время исходного первого направления колебательного движения (см. фиг. 4Б). Как показано на фиг. 4Г, каретка 6 движется во втором, противоположном направлении, пока не достигнет своего исходного положения, в котором она замедляется, меняет направление и снова ускоряется, чтобы начать следующий периодический цикл. Следует обратить внимание на то, что хотя на фиг. 4А-4Г показаны колебания, происходящие в направлении Z, каретка 6 и линейные направляющие 11 могут быть сконфигурированы так, чтобы колебания происходили в направлении X или Y. Хотя на фиг. 4А-4Г показана печатающая головка с лазером, понятно, что та же последовательность применяется к печатающей головке с другим источником тепла, таким как индукционная катушка или плазменная дуга.

Во втором варианте осуществления, показанном на фиг. 5А-5Г, металлическая капля 13 высвобождается с помощью колебания с жестким упором. Этот вариант осуществления аналогичен предыдущему варианту осуществления. Во-первых, как показано на фиг. 5А, каретка 6 перемещается в первом колебательном направлении за счет вращения вращающегося компонента 16. Это может быть направление вниз. Как показано на фиг. 5Б, в то время как каретка 6 движется в первом колебательном направлении, исполнительный механизм 8 продвигает металлическую микропроволоку 7, и наконечник проволоки плавится из твердой фазы в жидкую. Количество металла, образующего каплю, определяется скоростью исполнительного механизма 8, скоростью каретки 6 и диаметром микропроволоки. Капля расплавленного металла получает направление движения. В конце колебательного движения, показанного на фиг. 5В, каретка 6 замедляется, ударяется о жесткий упор 12, меняет направление и снова ускоряется в противоположном направлении. Степень замедления, степень ускорения, скорость и расстояние, пройденное для колебательного движения, выбираются в соответствии с диаметром микропроволоки, диаметром и массой капли, чтобы вызвать отделение металлической капли 13 от металлической микропроволоки 7 и гарантировать продолжение движения металлической капли 13 в направлении, полученном во время исходного первого направления

колебательного движения (см. фиг. 5Б). В определенных вариантах осуществления каретка 6 может не замедляться до удара о жесткий упор 12. Как показано на фиг. 5Г, каретка 6 движется во втором, противоположном направлении до тех пор, пока не достигнет своего исходного положения, где она замедляется, меняет направление и снова ускоряется, чтобы начать следующий периодический цикл. Следует обратить внимание на то, что, хотя на фиг. 5А-5Г показаны колебания, происходящие в направлении Z, каретка 6 и линейные направляющие 11 могут быть сконфигурированы таким образом, чтобы колебания происходили в направлении X или Y. Кроме того, хотя на фиг. 5А-5Г показана печатающая головка с лазером, понятно, что та же последовательность применяется к печатающей головке с другим источником тепла, таким как индукционная катушка или плазменная дуга.

В третьем варианте осуществления, показанном на фиг. 6А-6Г, металлическая капля 13 высвобождается с использованием передачи импульса. В этом варианте осуществления каретка подвергается периодической передаче импульса. Во-первых, как показано на фиг. 6Б, в то время как каретка 6 движется в первом колебательном направлении, металлическая микропроволока 7 выдвигается, и наконечник проволоки плавится из твердой фазы в жидкую. Количество металла, образующего каплю, определяется скоростью исполнительного механизма 8, скоростью каретки 6 и диаметром микропроволоки. После образования желаемой капли каретка 6 получает импульс в желаемом направлении движения капли и передает этот импульс капле расплавленного металла, как показано на фиг. 6В. Например, в одном варианте осуществления каретка 6 является неподвижной. Стержень 15 соединен с массой 17. При вращении вращающегося компонента 16 масса 17 перемещается вверх и вниз. Стержень 15 и масса 17 имеют такие размеры, что масса 17 воздействует на каретку 6 в нижней части ее хода. При получении импульса металлическая капля 13 отделяется от металлической микропроволоки 7 и движется в направлении импульса, как показано на фиг. 6Г. Начинается следующий период цикла. Кроме того, хотя на фиг. 6А-6Г показана печатающая головка с лазером, понятно, что та же последовательность применяется к печатающей головке с другим источником тепла, таким как индукционная катушка или плазменная дуга.

Хотя на каждом из предыдущих рисунков источник тепла показан смонтированным или присоединенным к каретке, возможны и другие варианты. Например, как показано на фиг. 8, источник тепла 20, которым может быть лазерный луч, индукционная катушка или плазменная дуга, не закреплен на каретке 6, а остается неподвижным относительно линейных направляющих 11. Другие аспекты этого варианта осуществления аналогичны описанным выше, и аналогичным компонентам были присвоены идентичные

позиционные обозначения. В этом варианте осуществления источник тепла 20 расположен в точке, где направление колебаний меняется на противоположное, и металлическая капля 13 отделяется от кончика металлической микропроволоки 7.

На фиг. 9А-9Г показана работа печатающей головки, показанной на фиг. 8. Как показано на фиг. 9А, последовательность событий начинается с того, что металлическая микропроволока 7 находится в полностью выдвинутом положении, в то время как каретка 6 начинает двигаться в первом направлении. Это может быть направление вниз. Движение каретки 6 приведет к тому, что металлическая микропроволока 7 будет вставлена в источник тепла 20, который расплавит металлическую микропроволоку 7 из твердой формы в жидкую. Во время движения в первом направлении металлическая микропроволока 7 непрерывно подается исполнительным механизмом 8 в источник тепла, увеличивая количество металла, используемого для формирования капли. В конце колебательного движения, показанного на фиг. 9В, каретка 6 замедляется, меняет направление и снова ускоряется в противоположном втором направлении. Степень замедления, степень ускорения, скорость и расстояние, пройденное для колебательного движения, выбираются в соответствии с диаметром микропроволоки, диаметром и массой капли, чтобы вызвать отделение металлической капли 13 от металлической микропроволоки 7 и гарантировать продолжение движения металлической капли 13 в направлении, полученном во время исходного первого направления колебательного движения, как показано на фиг. 9В. Как показано на фиг. 9Г, каретка 6 перемещается во втором, противоположном направлении до тех пор, пока не достигнет своего исходного положения, где она замедляется. Во время движения во втором направлении металлическая микропроволока 7 выдвигается для начала следующего периодического цикла. Этот вариант осуществления механизма имеет преимущества в отношении синхронизации событий и может быть использован для достижения определенной частоты образования капель.

Хотя это и не показано, варианты осуществления на фиг. 5А-5Г и 6А-6Г также могут быть реализованы с использованием источника тепла, который остается неподвижным относительно линейных направляющих 11.

В каждом из этих вариантов осуществления контроллер 5 может быть связан с исполнительным механизмом 8, двигателем, который управляет вращающимся компонентом 16, и источником тепла для выполнения действий, описанных здесь.

Все варианты осуществления, описанные здесь, могут быть использованы в различных, невертикальных ориентациях. Как описано выше, сила, которая воздействует на металлическую каплю 13 и вызывает отделение металлической капли 13 от

металлической микропроволоки 7, может быть намного больше силы тяжести. Направление импульса, которое также является направлением колебаний печатающей головки, будет поддерживаться металлической каплей 13 и определяет ее траекторию. В невертикальной ориентации сила тяжести будет иметь небольшое влияние на траекторию капли, что может привести к тому, что в противном случае прямая траектория будет слегка искривлена. По сравнению с силой поверхностного натяжения расплавленного металла сила тяжести также оказывает небольшое влияние на капли расплавленного металла в субмиллиметровом масштабе, что позволяет послойно создавать структуры капель расплавленного металла на вертикальной платформе.

Варианты осуществления, описанные в этом раскрытии, могут иметь множество преимуществ. Отделение капли может быть более предсказуемым, и время этого отделения также может быть более предсказуемым. Кроме того, настоящая система имеет возможность создавать капли более высокой температуры и из различных типов металла. Эта система также обеспечивает более высокую частоту разделения капель. Систему также можно распараллелить на множество генераторов капель, что приведет к увеличению пропускной способности и снижению удельных затрат.

Объем настоящего раскрытия не должен ограничиваться конкретными вариантами осуществления, описанными здесь. Действительно, другие различные варианты осуществления и модификации настоящего изобретения, в дополнение к описанным здесь, будут очевидны специалистам в данной области из приведенного выше описания и прилагаемых чертежей. Таким образом, предполагается, что другие подобные варианты осуществления и модификации подпадают под объем настоящего раскрытия. Кроме того, хотя настоящее раскрытие было описано здесь в контексте конкретной реализации в конкретной среде для конкретной цели, специалисты в данной области признают, что его полезность этим не ограничивается, и что настоящее раскрытие может быть выгодно реализовано в любом количестве сред для любого количества целей. Соответственно, формула изобретения, изложенная ниже, должна быть истолкована с учетом всей широты и духа настоящего раскрытия, как описано здесь.

Формула изобретения

1. Система для формирования капель расплавленного металла по требованию, содержащая:

каретку;

исполнительный механизм, в котором металлическая микропроволока продвигается исполнительным механизмом;

источник тепла, расположенный вблизи кончика металлической микропроволоки, тем самым вызывая нагрев кончика металлической микропроволоки выше ее точки плавления, так что образуется капля; и

механизм для создания изменения импульса каретки, при этом изменение импульса капли относительно кончика металлической микропроволоки вызывает отделение капли от кончика металлической микропроволоки.

2. Система по п.1, дополнительно содержащая подложку для приема капли, *отличающаяся тем, что* подложка подвижна относительно каретки в направлениях X, Y и Z.

3. Система по п.1, *отличающаяся тем, что* каретка расположена между линейными направляющими, так что перемещение каретки ограничивается линейными направляющими в одном направлении.

4. Система по п.3, *отличающаяся тем, что* изменение импульса капли относительно кончика металлической микропроволоки осуществляют за счет колебательного движения каретки внутри линейных направляющих.

5. Система по п.3, *отличающаяся тем, что* изменение импульса капли относительно кончика металлической микропроволоки осуществляют за счет колебательного движения каретки с жестким упором относительно линейных направляющих.

6. Система по п.1, *отличающаяся тем, что* изменение количества движения капли относительно кончика металлической микропроволоки осуществляют за счет передачи импульса капле массой, ударяющей о каретку.

7. Система по п.1, *отличающаяся тем, что* источник тепла содержит лазер для излучения лазерного луча.

8. Система по п.7, *отличающаяся тем, что* свет от лазера подают в область, ближайшую к кончику металлической микропроволоки, с помощью волоконно-оптического кабеля.

9. Система по п.8, *отличающаяся тем, что* волоконно-оптический кабель содержит линзу для фокусирования лазерного луча на кончике металлической микропроволоки.

10. Система по п.1, *отличающаяся тем, что* источник тепла содержит индукционную катушку, расположенную вокруг кончика металлической микропроволоки.

11. Система по п.1, *отличающаяся тем, что* источник тепла содержит два электрода, причем напряжение подается по меньшей мере на один из двух электродов для создания плазменной дуги вблизи кончика металлической микропроволоки.

12. Система по п.1, *отличающаяся тем, что* источник тепла содержит электрод, причем напряжение подается по меньшей мере на один из электродов и металлическую микропроволоку для создания плазменной дуги вблизи кончика металлической микропроволоки.

13. Система по п.1, дополнительно содержащая, по меньшей мере, второй исполнительный механизм, при этом имеется множество источников металлической микропроволоки, каждый из которых подается своим соответствующим исполнительным механизмом и каждый из которых расплавляется источником тепла, при этом каждая капля отделяется за счет изменения импульса капли относительно соответствующей металлической микропроволоки.

14. Система по п.1, *отличающаяся тем, что* источник тепла прикреплен к каретке, и исполнительный механизм подает металлическую микропроволоку к источнику тепла во время перемещения каретки.

15. Система по п.3, *отличающаяся тем, что* источник тепла прикреплен к одной из линейных направляющих таким образом, что источник тепла не перемещается вместе с кареткой.

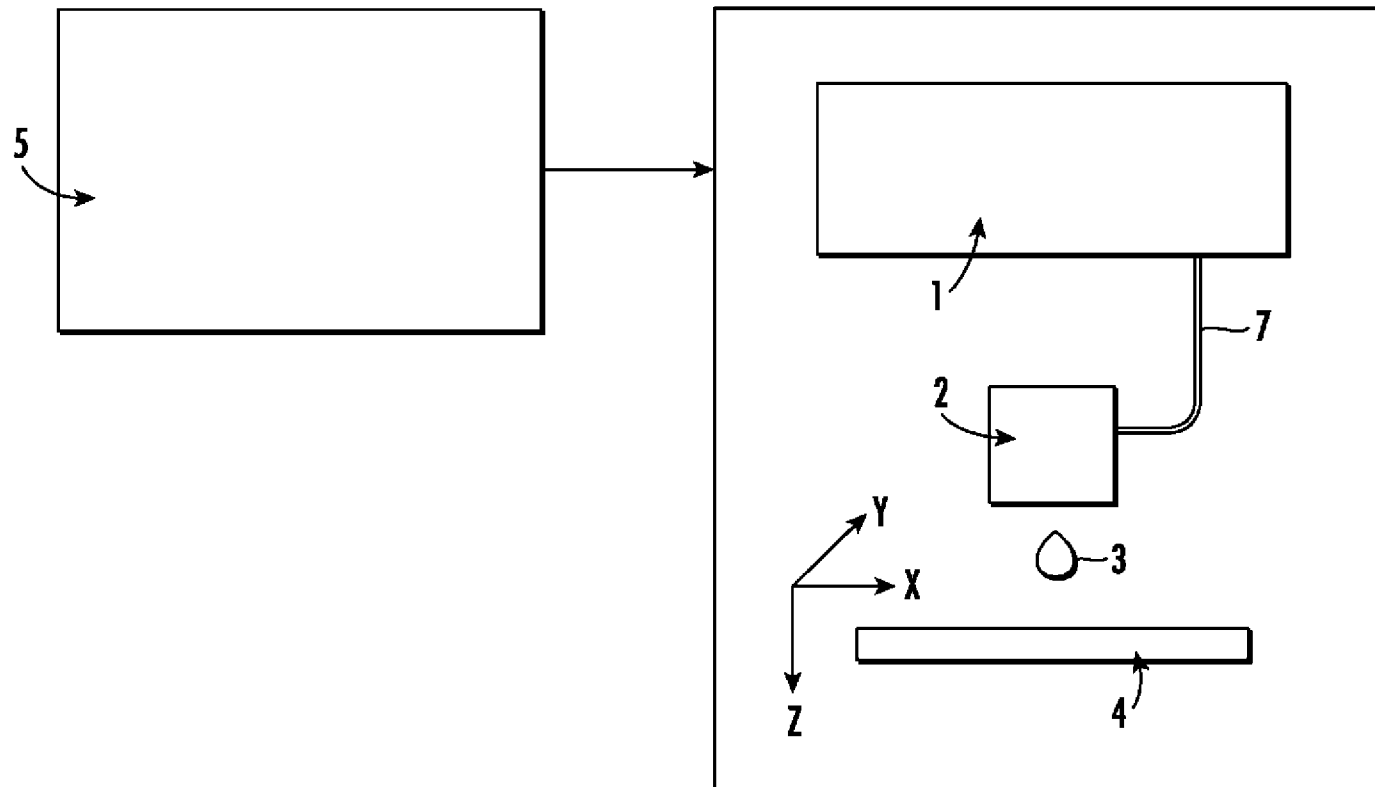
16. Система по п.1, *отличающаяся тем, что* каретка перемещается в направлении вверх и вниз.

17. Система по п.1, *отличающаяся тем, что* исполнительный механизм установлен на каретке.

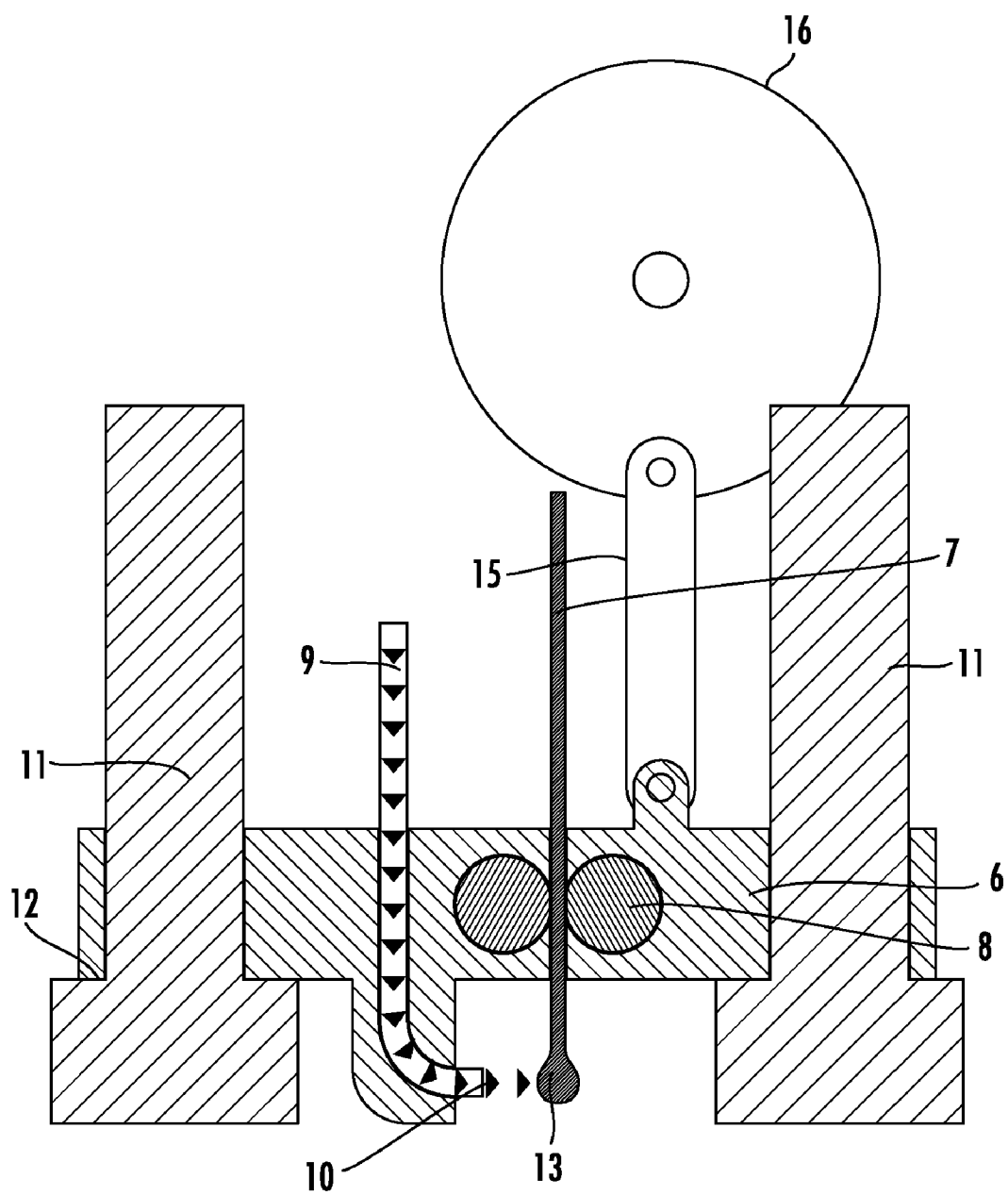
18. Система по п.1, *отличающаяся тем, что* источник тепла сконструирован таким образом, что количество и скорость тепловой энергии, подаваемой на наконечник металлической микропроволоки, таковы, что металлическая микропроволока над наконечником остается твердой.

19. Система по п.1, *отличающаяся тем, что* металлическая микропроволока над наконечником остается твердой благодаря активному регулированию

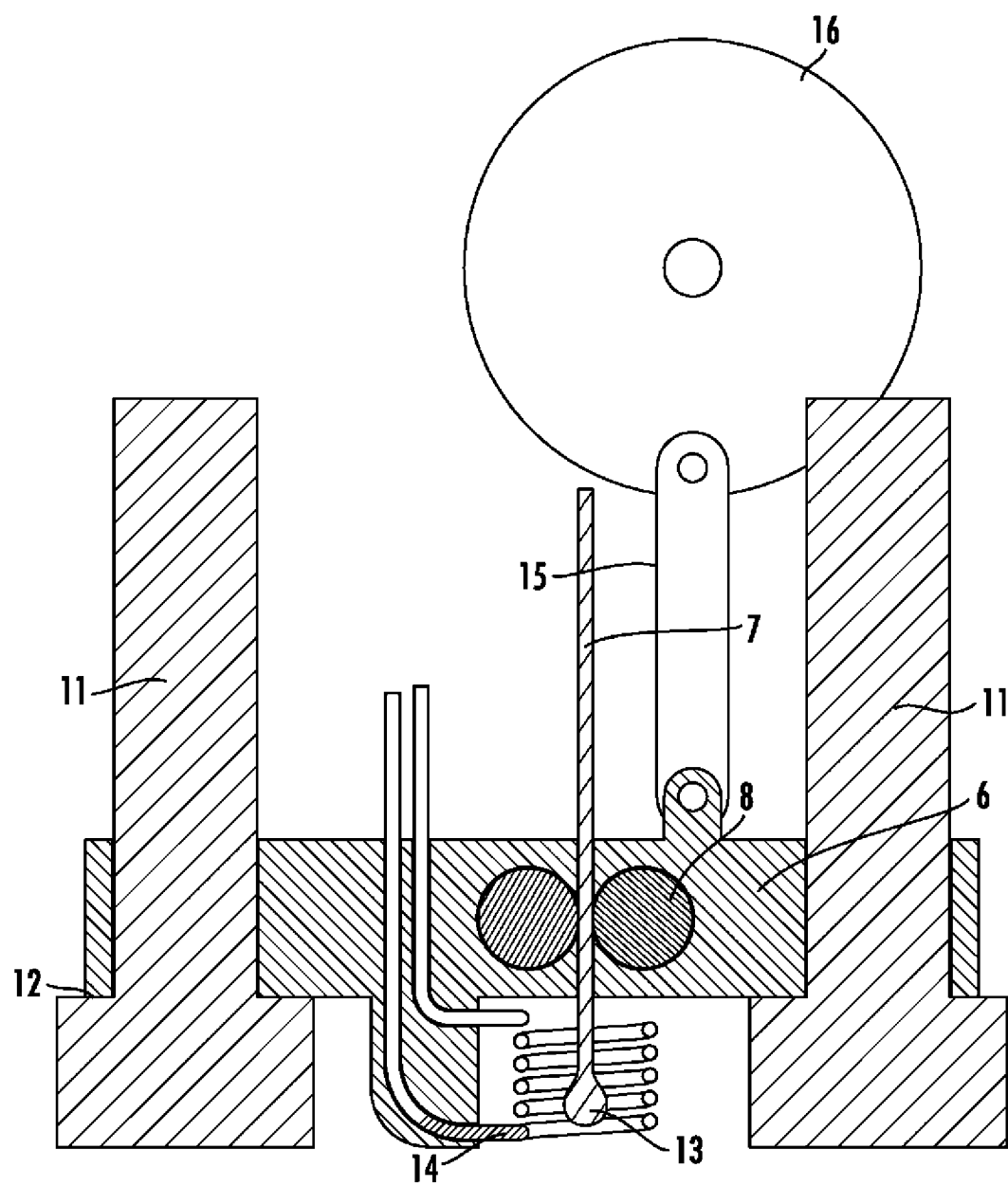
температуры металлической микропроволоки, например, посредством теплопроводности или конвекции.



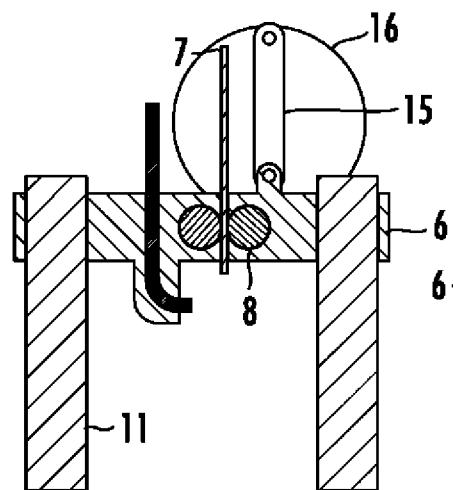
Фиг. 1



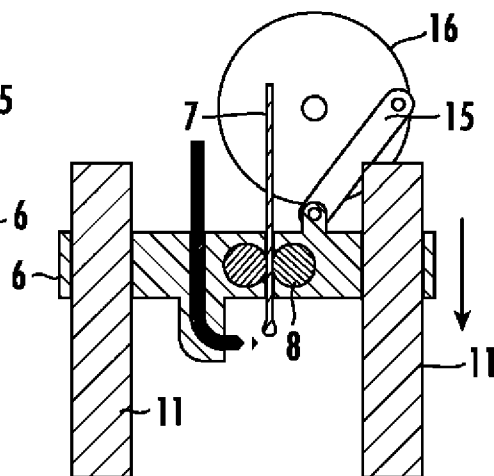
Фиг. 2



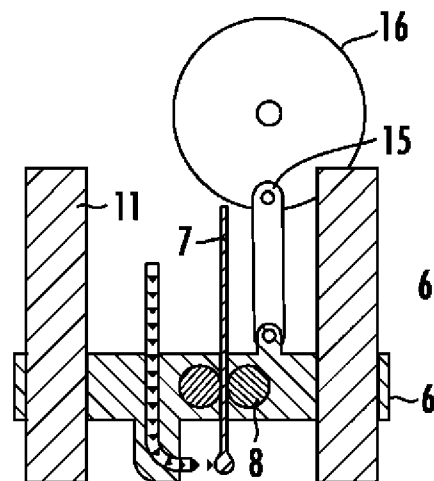
Фиг. 3



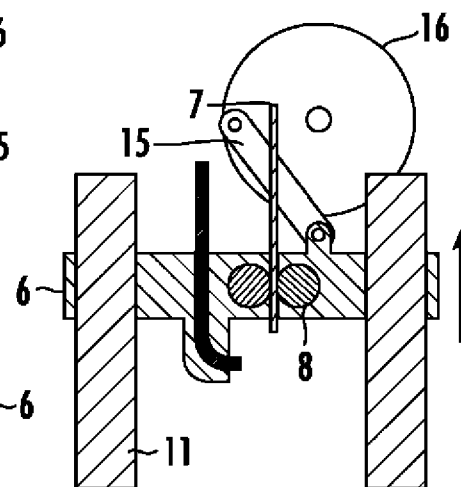
Фиг. 4А



Фиг. 4Б

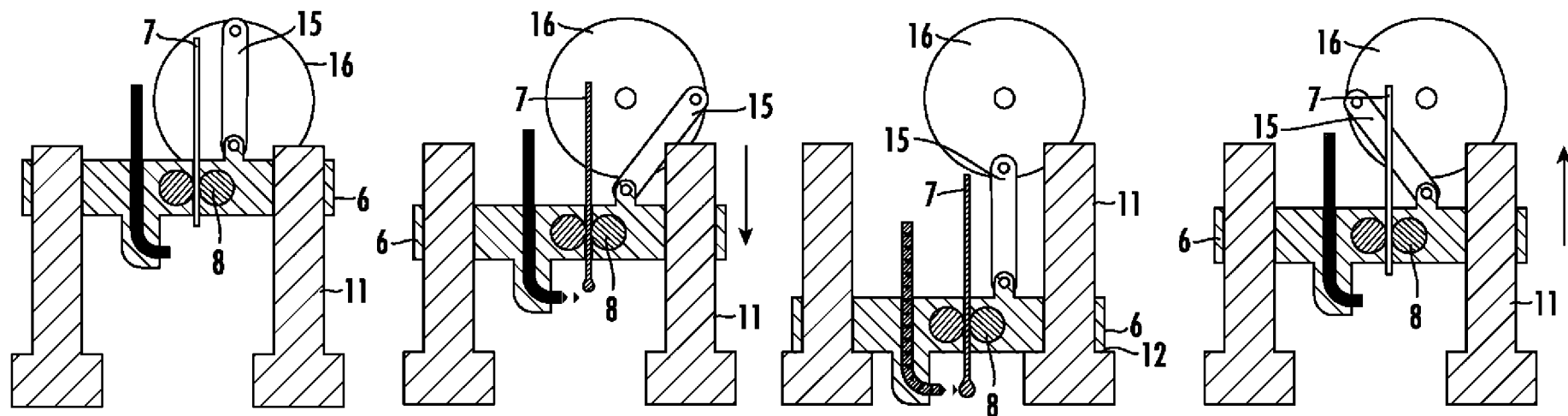


Фиг. 4В



Фиг. 4Г

⊗ 13



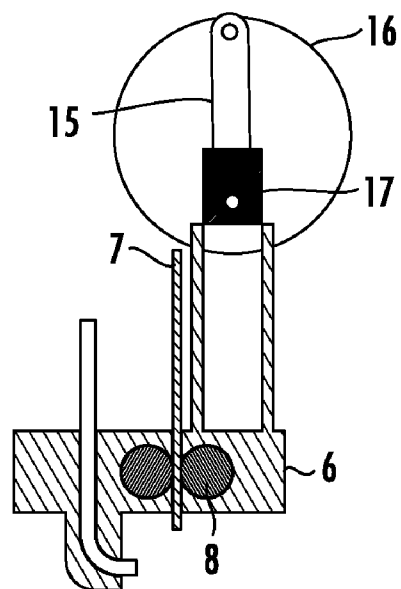
Ø-13

Фиг. 5А

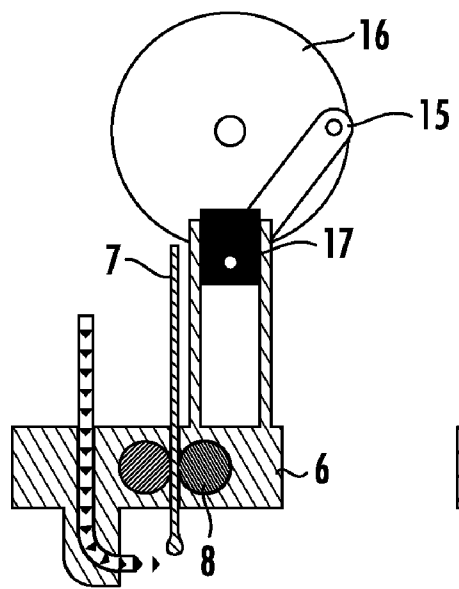
Фиг. 5Б

Фиг. 5В

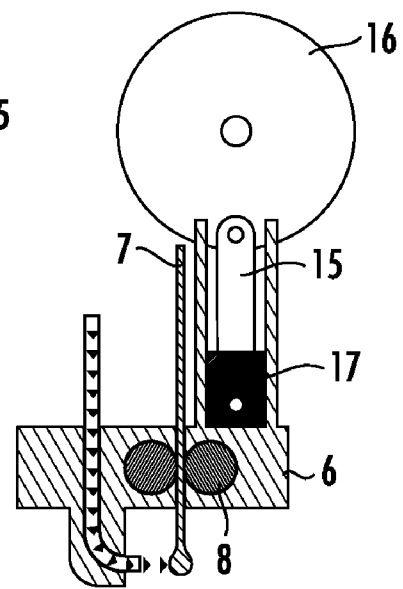
Фиг. 5Г



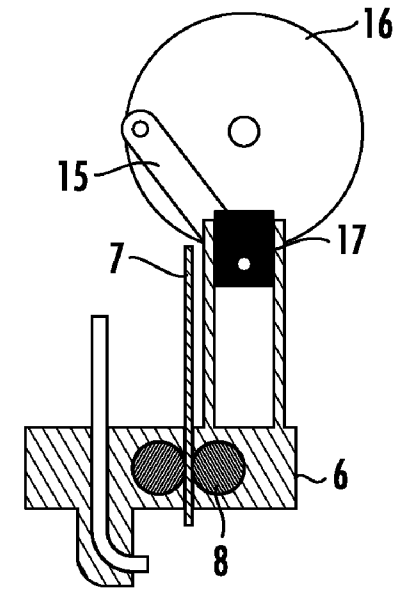
Фиг. 6А



Фиг. 6Б

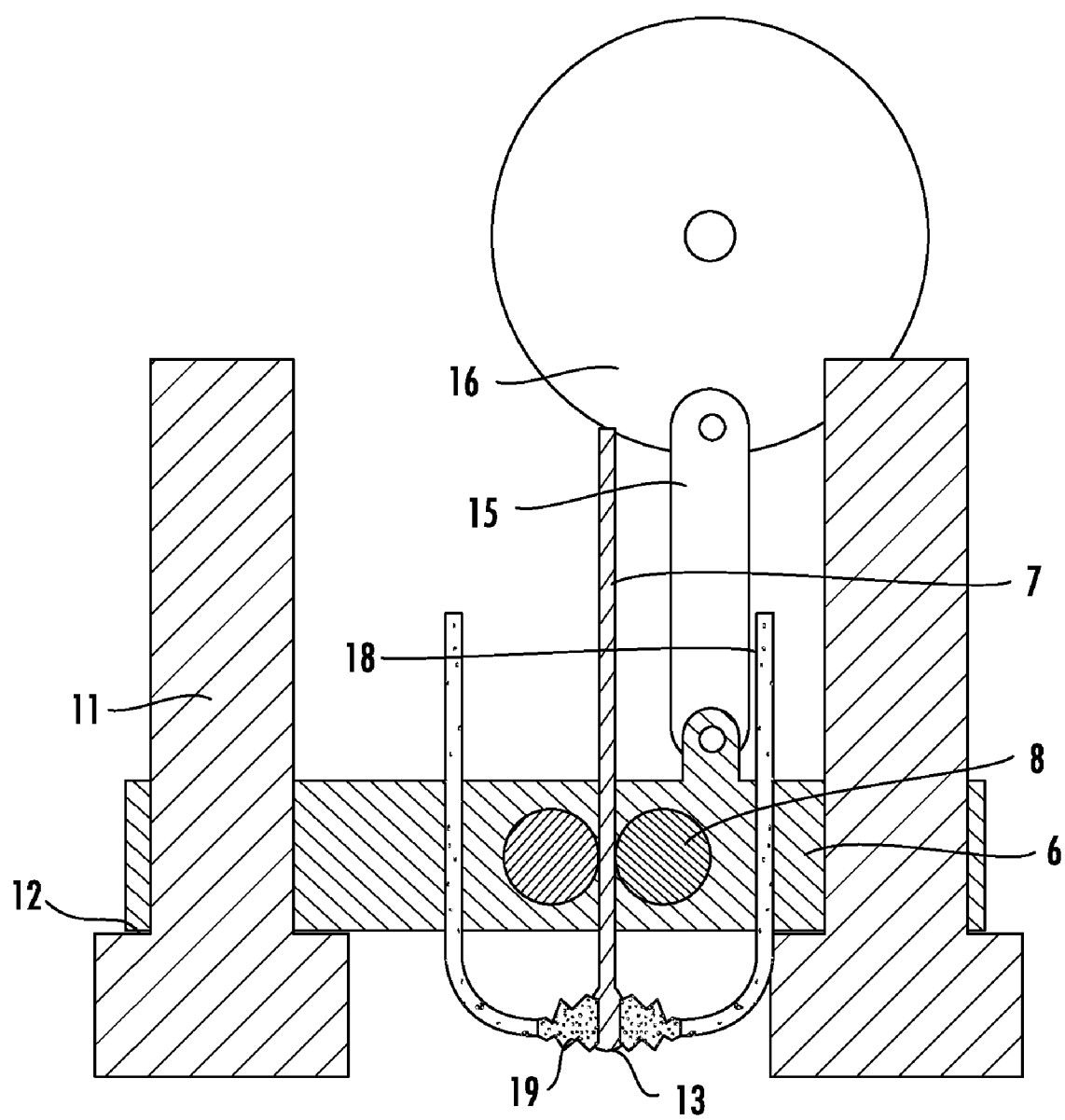


Фиг. 6В

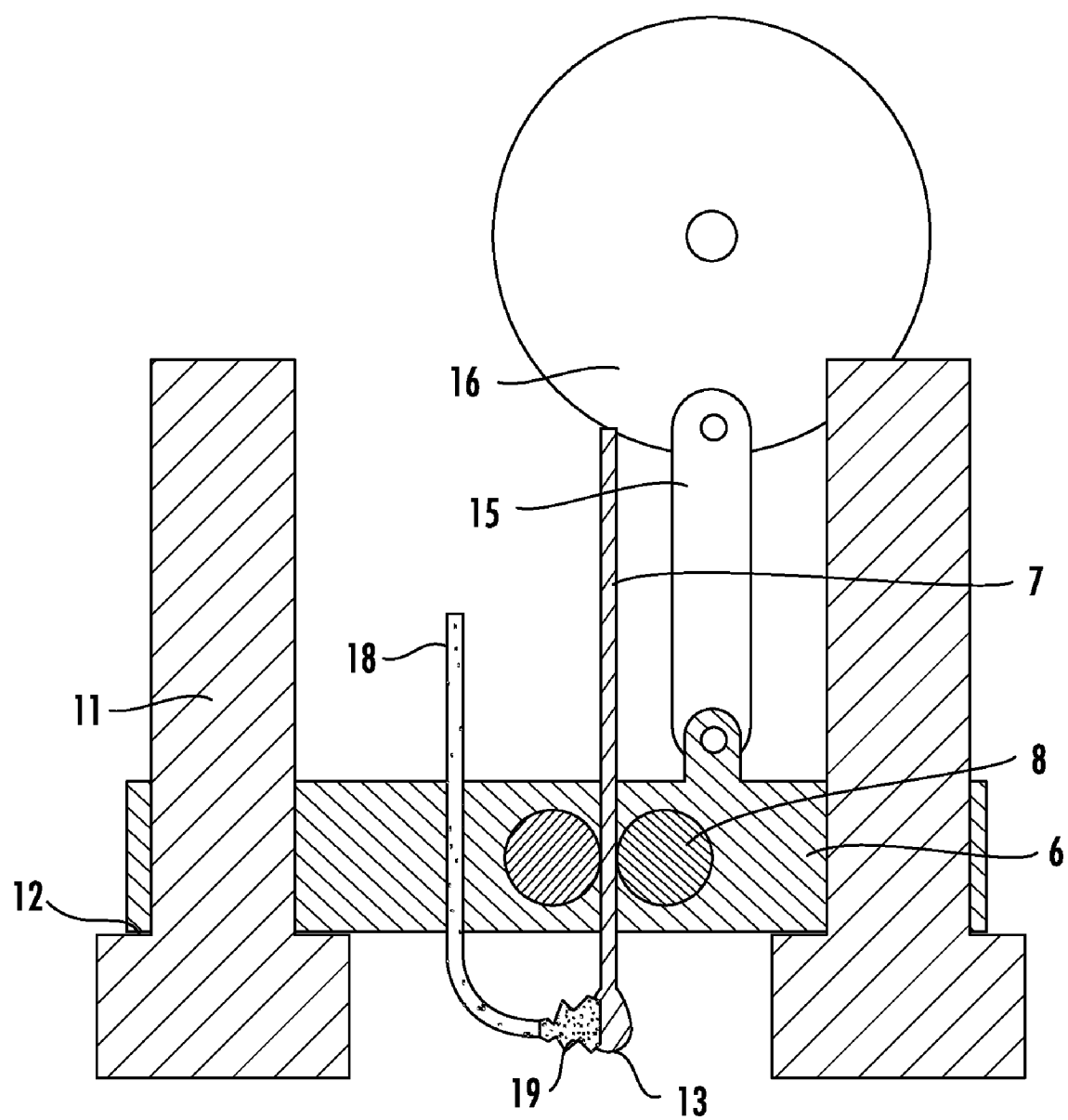


Фиг. 6Г

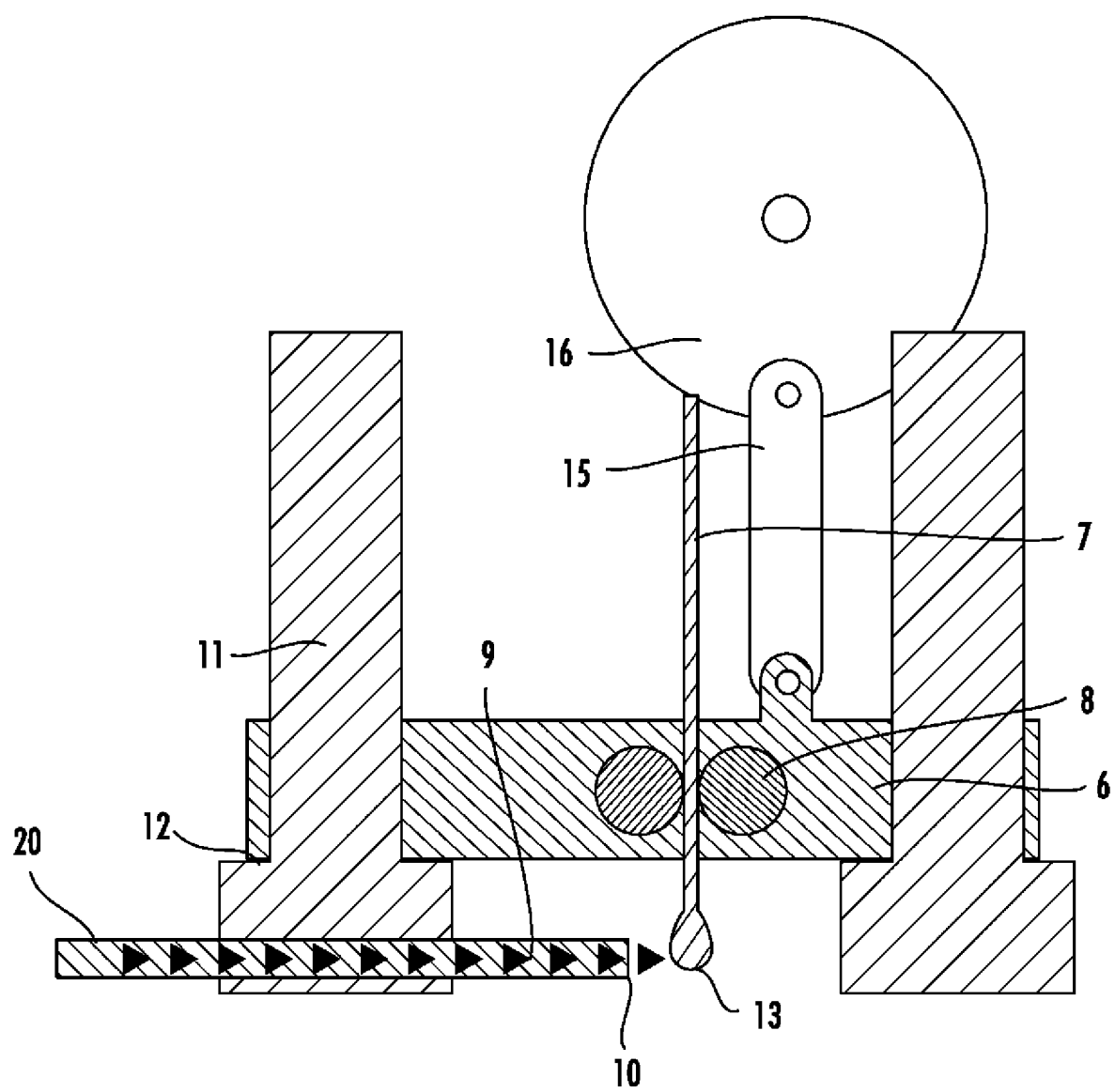
13



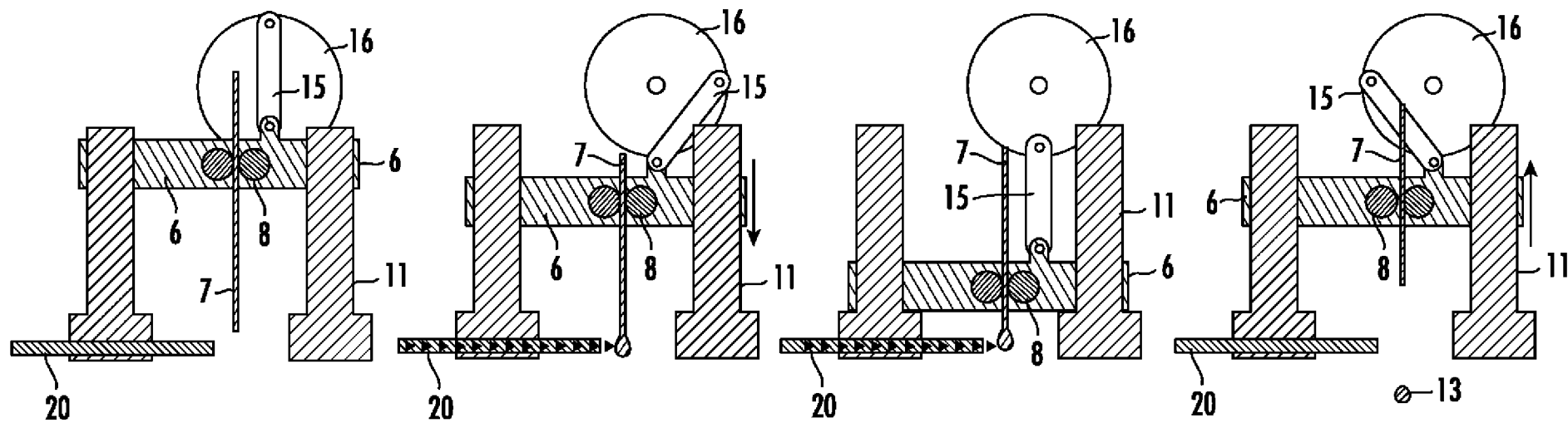
Фиг. 7А



Фиг. 7Б



Фиг. 8



Фиг. 9А

Фиг. 9Б

Фиг. 9В

Фиг. 9Г