

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **038739**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2021.10.13

(21) Номер заявки
201990026

(22) Дата подачи заявки
2017.03.17

(51) Int. Cl. **B23K 9/04** (2006.01)
B22F 3/00 (2006.01)
B23K 10/02 (2006.01)
B23K 15/00 (2006.01)
B23K 26/342 (2014.01)
B23K 9/12 (2006.01)
B23K 9/133 (2006.01)

(54) **СПОСОБ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПРОВОЛОКИ В ДУГЕ**

(31) **15/206,171**

(32) **2016.07.08**

(33) **US**

(43) **2019.07.31**

(86) **PCT/EP2017/056387**

(87) **WO 2018/007030 2018.01.11**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
НОРСК ТИТАНИУМ АС (NO)

(72) Изобретатель:
Вигдаль Бреде, Берг Хага Ханс-Мартин, Фалла Том-Эрик (NO)

(74) Представитель:
**Хмара М.В., Липатова И.И.,
Новоселова С.В., Пантелеев А.С.,
Ильмер Е.Г., Осипов К.В. (RU)**

(56) GB-A-1506621
WO-A1-2014203069
US-A-4531040
US-A1-2002158048

(57) Предложен способ непрерывной подачи металлической проволоки (180) к сварочной горелке в надлежащей ориентации относительно источника тепла сварочной горелки для изготовления объектов посредством изготовления твердой произвольной формы и обеспечения непрерывного осаждения металла на объекты произвольной формы, особенно объекты, изготавливаемые из титана или титанового сплава, никеля или никелевого сплава, взятого в виде проволоки.

B1**038739****038739****B1**

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к системе и способу поддержания точного расположения дистального конца или наконечника металлической проволоки в дуге сварочной горелки для изготовления предметов посредством изготовления твердой произвольной формы, особенно предметов из титана или титанового сплава или никеля или никелевого сплава, представленного проволокой.

Предшествующий уровень техники

Структурированные металлические детали, изготовленные из титана или титановых сплавов, обычно изготавливают литьем, ковкой или механической обработкой из заготовки. Эти способы имеют недостатки, заключающийся в высоком расходе материала дорогого металла титана и большом времени ввода в производство.

Физические объекты максимальной (теоретической, т.е. без пор) плотности могут быть изготовлены с помощью технологии изготовления, известной как быстрое прототипирование, быстрое изготовление, послойное изготовление, изготовление твердой произвольной формы (т.н. метод SFFF, от англ. solid freeform fabrication), аддитивная технология, аддитивное изготовление или трехмерная печать. Этот способ использует программное обеспечение автоматизированного проектирования (САПР), чтобы сначала сконструировать виртуальную модель объекта, который должен быть изготовлен, а затем преобразовать виртуальную модель в тонкие параллельные элементы или слои, обычно горизонтально ориентированные. Физический объект может быть затем выполнен путем наложения последовательных слоев исходного (заготовочного) материала в виде жидкости, пасты, порошка или материала в другой форме, способной растекаться, намазываться, или в текучей форме, такой как расплавленный металл, например от расплавленной электродной проволоки, или в предварительно сформованном виде, таком как листовой материал, напоминающий форму виртуальных слоев, до тех пор, пока не будет сформирован весь объект. Слои могут быть сплавлены вместе с образованием твердого плотного объекта.

Технология изготовления твердой произвольной формы представляет собой гибкий способ, позволяющий создавать объекты почти любой формы с относительно быстрыми скоростями производства, обычно от нескольких часов до нескольких дней для каждого объекта. Таким образом, указанный способ пригоден для формирования прототипов и небольших партий изделий и может быть масштабирован для производства большого объема.

Способ послойного изготовления может быть расширен с включением в него осаждения элементов конструкционного материала, то есть каждый структурный слой виртуальной модели объекта разделен на набор элементов, которые при укладке рядом друг с другом образуют слой. Это позволяет формировать металлические объекты путем приваривания проволоки к подложке в последовательных полосах, формируя каждый слой согласно виртуальной послойной модели объекта и повторяя процесс для каждого слоя до тех пор, пока не будет сформирован весь физический объект. Точность способа сварки обычно слишком грубая для того, чтобы можно было сразу сформировать объект с приемлемыми размерами. Таким образом, образованный объект обычно рассматривают как неготовый объект или как заготовку, которая должна быть подвергнута механической обработке для достижения приемлемой точности размеров.

В уровне техники известно использование плазменной дуги для обеспечения тепла для сварки металлических материалов. Этот способ можно применять при атмосферном или более высоком давлении и, таким образом, можно использовать более простое и менее затратное технологическое оборудование. Один такой способ известен как дуговая сварка вольфрамовым электродом в газовой среде (GTAW, от англ. gas tungsten arc welding, также обозначаемая как TIG, от англ. tungsten inert gas welding), в которой между нерасходуемым вольфрамовым электродом и областью сварки образуется плазменная наплавляющая дуга. Плазменная дуга обычно защищена газом, подаваемым через плазменную горелку, образуя защитную крышку вокруг дуги. Сварка TIG может включать в себя подачу металлической проволоки или металлического порошка в ванну расплава или плазменную дугу в качестве наполнителя.

Известно (см. патентную публикацию США 2010/0193480) использование горелки для сварки TIG для образования объектов посредством изготовления твердой произвольной формы (т.н. метод SFFF, от англ. solid freeform fabrication), при котором производится последовательное осаждение на подложку слоев исходного малопластичного металлического материала. Плазменная струя создается путем возбуждения потока газа с использованием электрода, причем ток, подаваемый на электрод, можно изменять по величине. Плазменная струя может быть направлена в намеченную область для предварительного прогрева намеченной области заготовки перед осуществлением наплавления. Электрический ток регулируют, и исходный материал, такой как металлическая проволока, подают в плазменную струю, чтобы осадить расплавленный исходный материал в намеченной области. Ток регулируют, а расплавленный исходный материал медленно охлаждают при повышенной температуре, обычно выше температуры перехода исходного материала из хрупкого состояния к пластичному в фазе охлаждения, чтобы минимизировать возникновение напряжений в материале.

Визерсом и др. (Withers et al.) в патентной публикации США 2006/185473 также раскрыто использование горелки TIG вместо дорогостоящего лазера, который традиционно используется в процессе SFFF, со сравнительно недорогим исходным титановым материалом путем сочетания подачи титана и легирующих компонентов таким образом, что обеспечивается значительное сокращение затрат на исход-

ные материалы. Согласно Визерсу и др. может быть использована проволока из нелегированного коммерчески чистого титана (CP Ti-проволока), которая дешевле легированной проволоки, и при этом CP Ti-проволока может комбинироваться с порошкообразными легирующими компонентами in-situ в процессе SFFF посредством комбинирования CP Ti-проволоки и порошкообразных легирующих компонент в расплаве, получаемом сварочной горелкой или иным высокоэнергетическим лучом. Согласно Визерсу и др. предусмотрена возможность смешения губчатого титанового материала с легирующими элементами и их выполнения в виде проволоки, причем она может быть использована в процессе SFFF в сочетании с горелкой плазменной сварки или иным высокоэнергетическим лучом для изготовления компонентов из титана с формой, прижатой к чистовой.

Эбботом и др. (Abbott et al.) в патентном документе WO 2006/133034 (2006) раскрыт способ прямого осаждения металла с использованием лазерного/дугового гибридного процесса для изготовления сложных трехмерных форм, включающий в себя обеспечение подложки и осаждение первого слоя расплавленного металла на подложку из металлической заготовки с использованием лазерного излучения и электрической дуги. Электрическая дуга может быть обеспечена посредством горелки дуговой сварки в газовой среде с использованием металлической заготовки в качестве электрода. Эбботом и др. утверждается, что использование лазерного излучения в сочетании с дуговой сваркой металлическим электродом в газовой среде стабилизирует дугу и якобы обеспечивает более высокие скорости обработки. Эббот и др. используют расходный электрод, направляемый направляющим устройством для проволоки и выходящий из него. Металл расходного электрода расплавляют на конце и расплавленный металл осаждают путем размещения конца над точкой осаждения. Необходимое тепло для плавления расходного электрода может обеспечиваться электрической дугой, проходящей между наконечником электрода и обрабатываемой деталью/подложкой осаждения; и лазером, облучающим область осаждения. Сварка посредством плавления расходного электрода, нагретого электрической дугой, известна как дуговая сварка металлическим электродом в газовой среде (GMAW, от англ. gas metal arc welding), которая в случае использования неактивных газов также обозначается как сварка металлическим электродом в инертном газе (MIG-сварка, от англ. metal inert gas).

Чтобы эффективно наносить металл из металлической проволоки на поверхность обрабатываемой детали, используя сварочную горелку, необходимо поддерживать металлическую проволоку в правильном положении относительно сварочной горелки. Если не поддерживать металлическую проволоку внутри дуги, то проволока не будет плавиться надлежащим образом и металл не будет наноситься в правильном месте.

Соответственно в данной области техники существует потребность в экономически выгодном способе осуществления прямого осаждения металла, повышении скорости осаждения металла и одновременном поддержании металлической проволоки в надлежащем положении внутри дуги сварочной горелки.

Сущность изобретения

Задача настоящего изобретения состоит в создании системы подачи металлической проволоки к сварочной горелке и поддержании металлической проволоки внутри источника тепла, создаваемого сварочной горелкой (например, в дуге горелки плазменно-дуговой сварки) в целях изготовления металлических объектов методом изготовления твердой произвольной формы. Сварочная горелка представляет собой источник тепла для плавления металлической проволоки, такой как горелка с плазменной наплавляющей дугой (РТА, от англ. plasma transferred arc), электронный пучок или лазер, или их комбинацию.

В настоящем изобретении предложена система для поддержания металлической проволоки в правильном положении относительно источника тепла, создаваемого сварочной горелкой для обеспечения непрерывной подачи расплавленного металла в ванну расплава на поверхности обрабатываемой детали в целях исключения случайных пропусков и дефектов в слое металла, добавляемого к обрабатываемой детали.

Другая задача настоящего изобретения заключается в создании способа для быстрого послойного изготовления объектов из титана или титановых сплавов или никеля или никелевых сплавов с применением металлической проволоки и одной или более сварочных горелок. Настоящее изобретение решает вопрос, связанный с потребностью в усовершенствованном, рентабельном способе осуществления прямого осаждения металла путем создания систем и способов для подачи металлической проволоки к сварочной горелке в требуемом положении относительно сварочной горелки, что может привести к увеличению скорости осаждения металла при изготовлении твердой произвольной формы. Настоящее изобретение направлено на удовлетворение потребности в улучшенном, экономичном способе осуществления прямого осаждения металла. Данное изобретение, кроме того, направлено на удовлетворение потребности в способе увеличения производительности и выхода готовых изделий, сформированных посредством прямого осаждения металла, которые не содержат искажений и имеют гладкие, хорошо определенные границы осаждения. Следует отметить, что, хотя изобретение описывается в связи с использованием металлической проволоки, может использоваться любая проводящая структура, которая может быть направлена и расплавлена для осаждения материала, например может быть использован любой расходный электрод подходящего размера и формы.

В настоящем изобретении предложены системы позиционирования металлической проволоки, ко-

торые включают в себя неподвижную основную опорную раму 900 и регулируемую направляющую опорную раму 500, соединенную посредством узла крепления с возможностью вращения с основной опорной рамой 900 через шарнир 800 и подвешенную на поворотном опорном плунжере 810. На основной опорной раме 900 неподвижно установлена панель 920. Панель 920 содержит отверстие с внутренней резьбой. Двигатель 570 закреплен на регулируемой направляющей опорной раме 500, при этом двигатель 570 может быть соединен с резьбовым элементом, находящимся в зацеплении с отверстием с внутренней резьбой на панели 920. Сварочная горелка 600 может быть неподвижно закреплена на основной опорной раме 900. Вторая сварочная горелка 610 также может быть неподвижно закреплена на основной опорной раме 900. Узел крепления может включать в себя опору 820, содержащую поворотный опорный плунжер 810, находящийся в зацеплении с шарниром 800, а также соединитель 830, соединенный с поворотным опорным плунжером 810, и шарнирно поддерживает последний, причем указанная опора 820 неподвижно закреплена на основной опорной раме 900. Система включает в себя детектор 700, выполненный с возможностью определения положения источника тепла, создаваемого сварочной горелкой, например дуги сварочной горелки 600. Следует отметить, что, хотя изобретение описано в отношении дуги горелки РТА, предложенная система может быть использована для изменения положения конца металлической проволоки в любом источнике тепла, создаваемом сварочной горелкой, например в плазменной дуге сварочной горелки PAW (сварка плазменной дугой, от англ. plasma arc welding) или РТА, или в электронном пучке электронно-лучевой сварочной горелки, или лазерном луче лазерной сварочной горелки.

Двигатель 570 может быть связан с системой управления, которая может управлять движением резьбового элемента. Система управления может управлять величиной и направлением поворота резьбового элемента за счет двигателя 570. Резьбовым элементом может служить винт или болт. Вращение резьбового элемента посредством двигателя 570 в одном направлении вызывает перемещение регулируемой направляющей опорной рамы 500 в сторону неподвижной основной опорной рамы 900, а вращение резьбового элемента посредством двигателя 570 в противоположном направлении отводит регулируемую направляющую опорную раму 500 от неподвижной основной опорной рамы 900. Это приводит к изменению положения дистального конца металлической проволоки 180. Например, вращение резьбового элемента посредством двигателя 570 по часовой стрелке может перемещать регулируемую направляющую опорную раму 500 ближе к неподвижной основной опорной раме 900, а вращение резьбового элемента посредством двигателя 570 против часовой стрелки может отводить регулируемую направляющую опорную раму 500 дальше от неподвижной основной опорной рамы 900. В ином варианте вращение резьбового элемента посредством двигателя 570 против часовой стрелки может перемещать регулируемую направляющую опорную раму 500 ближе к неподвижной основной опорной раме 900, а вращение резьбового элемента посредством двигателя 570 по часовой стрелке может отводить регулируемую направляющую опорную раму 500 дальше от неподвижной основной опорной рамы 900.

Система управления, используемая в примерных вариантах осуществления изобретения, описанных в данном документе, может обеспечить частичную или полную автоматизацию устройства осаждения. Система управления может включать в себя компьютерный процессор или центральное процессорное устройство (ЦПУ), дисплей ЦПУ, один или более источников питания, соединения источников питания, сигнальные модули, такие как модули ввода и/или вывода, интегрированное экранирующее устройство аналоговых сигналов, запоминающие устройства, печатные платы, микросхемы памяти или другие средства хранения, долговременный машиночитаемый носитель данных, имеющий машиночитаемую программу, встроенную в него, или любую их комбинацию. Машиночитаемая программа может содержать соответствующее программное обеспечение для частичной или полной автоматизации любой одной или комбинации систем. Машиночитаемый носитель информации может содержать надлежащую программу для отслеживания и/или регулирования параметра, например поворота резьбового элемента, скорости вращения двигателя, температуры, давления, положения обрабатываемой детали, скорости осаждения или любой комбинации указанных параметров. Примеры управляющих модулей включают в себя, но не ограничиваются ими, SIMATIC-S7-1500 фирмы Siemens AG (Мюнхен, Германия), систему IndraMotion MTX фирмы Bosch Rexroth AG (Лор-на-Майне, Германия) и компактную промышленную компьютерную систему SIGMATEK C-IPC фирмы SIGMATEK GmbH & Co KG (Лампрехтсхаузен, Австрия).

Путем надлежащего регулирования в ходе процесса изготовления можно поддерживать дистальный конец металлической проволоки 180 в требуемом положении относительно дуги сварочной горелки 600, чтобы обеспечить непрерывную подачу металлической проволоки к горелке в надлежащем положении так, чтобы металлическую проволоку можно было при помощи горелки расплавлять в ванну расплава на обрабатываемой детали. Вращательное движение резьбового элемента корректирует положение регулируемой направляющей опорной рамы, изменяя положение рамы, чтобы изменить положение проволоки относительно источника тепла, создаваемого сварочной горелкой, например относительно плазменной дуги горелки с плазменной дугой. Для защиты резьбового элемента в конструкцию может быть включен подвижный рукав, который окружает резьбовой элемент. В качестве двигателя 570 может использоваться двигатель постоянного тока, приводимый в действие электрическим сигналом управления, или шаговый двигатель. Когда в качестве двигателя 570 используется шаговый двигатель, можно точно задавать угол

поворота резьбового элемента в любом направлении за счет электронного управления числом импульсов питания, подаваемых на двигатель.

В системе, соответствующей настоящему изобретению, детектор 700 может быть прикреплен к регулируемой направляющей опорной раме 500 при помощи держателя 710. Детектор 700 может иметь в своем составе камеру, видео камеру, датчик видеоизображения или комбинацию таких устройств. Камера может представлять собой устройство на основе прибора с зарядовой связью (ПЗС).

Детектор может осуществлять захват цветного или черно-белого изображения источника тепла, создаваемого сварочной горелкой, например плазменной дуги сварочной горелки с плазменной дугой, а также изображения дистального конца металлической проволоки 180. Поле зрения камеры может быть настроено так, чтобы дистальный конец металлической проволоки 180 находился главным образом в центре поля зрения камеры. Перед камерой может быть установлен полосовой фильтр, чтобы отсекал шум и/или уменьшать интенсивность света, который создает дуга и принимает камера, чтобы улучшить контраст при визуализации дистального конца металлической проволоки 180. Согласно некоторым вариантам осуществления детектор 700 может содержать камеру для визуального обнаружения капель расплавленного металла, отделяющихся от металлической проволоки. Угол переноса капель через дугу может быть измерен с погрешностью, которую обеспечивает измеритель. Отклонение угла переноса капель может служить параметром, который используется для осуществления коррекции положения дистального конца металлической проволоки внутри источника тепла, создаваемого сварочной горелкой. Отклонение угла переноса капель может быть использовано само по себе или с другими параметрами для определения, является ли необходимой коррекция положения проволоки. Когда необходимо, коррекция может быть выполнена в реальном времени вручную на основе изображения от камеры. Коррекцию можно выполнять в реальном времени автоматически на основе анализа изображения от камеры, например на основе анализа угла переноса капель.

Система также может включать в себя основное подающее устройство, содержащее первый моторизованный механизм 475 подачи проволоки, двигатель 470, счетчик 465 оборотов и второй моторизованный механизм 460 подачи проволоки. Двигатель 470 может быть функционально связан с первым моторизованным механизмом 475 подачи проволоки и со вторым моторизованным механизмом 460 подачи проволоки. Счетчик 465 оборотов может быть расположен между первым моторизованным механизмом 475 подачи проволоки и вторым моторизованным механизмом 460 подачи проволоки. Система также может содержать счетчик 480 оборотов, расположенный перед первым моторизованным механизмом 475 подачи проволоки. Основное подающее устройство может отслеживать проскальзывание металлической проволоки 180, чтобы гарантировать, что по мере того как металлическая проволока 180 проходит через систему подачи, в проволоке не образуются ни перекрутки, ни изгибы, ни иные необратимые деформации. Проскальзывание может быть обнаружено путем сравнения вращения колесного устройства 485 свободного хода, измеренного счетчиком 480 оборотов, и вращения основного подающего устройства, измеренного счетчиком 465 оборотов.

В системе, соответствующей настоящему изобретению, неподвижная основная опорная рама 900, или регулируемая направляющая опорная рама 500, или обе указанные рамы могут содержать один или более вырезов, прорезей или отверстий 550. Такие вырезы, прорезы и отверстия помогают рассеянию тепла. Избыточное тепло может вызывать деформацию рамы. Вырезы, прорезы и отверстия в рамах рассчитаны так, чтобы максимально рассеивать тепло, но при этом минимально влиять на механическую прочность рамы так, чтобы рама могла физически выдерживать усилия растяжения, среза и кручения, которые прикладываются к раме со стороны закрепленных на ней компонентов.

Опорный элемент 300 может быть прикреплен к регулируемой направляющей опорной раме 500. Направляющее устройство 120 и узел 210 контактного наконечника могут быть закреплены на опорном элементе 300. Узел 210 контактного наконечника может содержать сменный контактный наконечник.

Также предложены способы подачи металлической проволоки к сварочной горелке. Способы содержат шаги, на которых подают определенное количество металлической проволоки от источника проволоки через направляющее устройство так, чтобы дистальный конец металлической проволоки был расположен в источнике тепла, создаваемого сварочной горелкой; определяют положение дистального конца металлической проволоки относительно источника тепла, создаваемого сварочной горелкой; и регулируют положение дистального конца металлической проволоки путем изменения положения регулируемой рамы, к которой прикреплено указанное направляющее устройство. Согласно предложенным способам регулируемая рама с возможностью вращения присоединена к неподвижной раме посредством узла крепления, который включает в себя опору, содержащую поворотный опорный плунжер, находящийся в зацеплении с шарниром, и соединитель, соединенный с поворотным опорным плунжером и шарнирно поддерживающий поворотный опорный плунжер, причем указанная опора неподвижно закреплена на неподвижной раме.

Согласно способу изменение положения регулируемой рамы выполняют путем включения репозиционирующего двигателя, соединенного с резьбовым элементом, который находится в зацеплении с отверстием с внутренней резьбой в панели, прикрепленной к неподвижной раме, причем вращение резьбового элемента посредством репозиционирующего двигателя в одном направлении перемещает регули-

руемую раму в сторону неподвижной рамы, а вращение резьбового элемента посредством репозиционирующего двигателя в противоположном направлении отводит регулируемую раму от неподвижной рамы. Репозиционирующий двигатель может представлять собой шаговый электродвигатель, при этом числом импульсов питания, подаваемых на электродвигатель, управляют, чтобы точно задавать угловое перемещение резьбового элемента в любом направлении. Репозиционирующий двигатель можно приводить в действие, используя контроллер, который изменяет подаваемое на двигатель питание, или регулирует частоту и направление вращения, а также продолжительность вращения двигателя, или позволяет выполнять автоматическое включение двигателя в ответ на сигнал, или выполняет любую комбинацию указанных операций.

В способе, соответствующем настоящему изобретению, основное подающее устройство может содержать первый моторизованный механизм подачи проволоки, двигатель транспортировки проволоки, счетчик оборотов и второй моторизованный механизм подачи проволоки, при этом двигатель транспортировки проволоки приводит во вращение первый и второй моторизованные механизмы подачи проволоки, чтобы продвигать металлическую проволоку вперед к источнику тепла, создаваемого сварочной горелкой. Двигатель транспортировки проволоки основного подающего устройства может представлять собой электродвигатель постоянного тока, приводимый в действие электрическим сигналом управления, или шаговый электродвигатель. Определение положения дистального конца металлической проволоки содержит визуализацию дистального конца металлической проволоки при помощи детектора. Детектор может включать в себя камеру. Камера может представлять собой камеру на основе комплементарной структуры "металл-оксид-полупроводник" (КМОП), устройство на основе прибора с зарядовой связью (ПЗС) или комбинацию указанных устройств. Детектор может формировать сигнал изображения, которое может быть преобразовано в цифровое представление обнаруженной световой картины, при этом в ответ на указанное цифровое представление производят изменение положения дистального конца металлической проволоки. Изменение положения регулируемой рамы можно выполнять путем включения репозиционирующего двигателя, соединенного с резьбовым элементом, который находится в зацеплении с отверстием с внутренней резьбой в панели, прикрепленной к неподвижной раме. Вращение резьбового элемента посредством репозиционирующего двигателя в одном направлении вызывает перемещение регулируемой направляющей опорной рамы в сторону неподвижной основной опорной рамы, а вращение резьбового элемента посредством репозиционирующего двигателя в противоположном направлении отводит регулируемую направляющую опорную раму от неподвижной основной опорной рамы. Репозиционирующим двигателем может являться шаговый электродвигатель, при этом числом импульсов питания, подаваемых на электродвигатель, управляют, чтобы точно задавать угловое перемещение резьбового элемента в любом направлении.

Источник проволоки может представлять собой катушку, на которую намотана металлическая проволока, при этом способ может включать в себя операцию сматывания металлической проволоки с катушки, чтобы передать металлическую проволоку к основному подающему устройству. Согласно предлагаемому способу основное подающее устройство может содержать желобчатые ролики, которые находятся во фрикционном контакте с металлической проволокой. Вращение желобчатых роликов вызывает продвижение металлической проволоки. Осуществить вращение желобчатых роликов можно путем включения двигателя, связанного с одним или более желобчатыми роликами. Согласно способу осуществляется подача металлической проволоки в надлежащее место у сварочной горелки так, чтобы сварочная горелка могла расплавлять проволоку. Сварочная горелка представляет собой источник тепла. К примерам устройств, которые могут быть использованы для плавления металлической проволоки, относятся сварочная горелка с плазменной дугой (горелка PAW), например горелка с наплавляющей дугой, электронно-лучевая сварочная горелка, лазерная сварочная горелка или сочетание указанных устройств.

Примером горелки PAW является горелка РТА. Горелка РТА может иметь любую конструкцию, способную создавать электрическую дугу для нагрева и плавления металлической проволоки, как, например, в случае дуговой сварки металлическим электродом в газовой среде (GMAW, от англ. gas metal arc welding), в которой, в частности, для получения дуги используется инертный газ. Металлическую проволоку используют в качестве электродной проволоки и расплавляют в плазме, создаваемой горелкой посредством электрической дуги, при этом расплавленный материал проволоки осаждают в ванну расплава на обрабатываемой детали в целях наращивания материала и получения металлического тела с формой, приближенной к чистовой.

В качестве сварочной горелки может использоваться лазерная сварочная горелка. Лазерная сварочная горелка создает лазерный луч, обладающий достаточной тепловой энергией, чтобы наплавлять металлическую проволоку на базовый материал. К примерам подходящих лазерных сварочных горелок может относиться лазер (Nd:YAG) на алюмоиттриевом гранате, легированном неодимом, лазер на CO₂, лазер на СО, диодный лазер на волокне, легированном иттербием, лазер на неодимовом стекле, лазер (Nd:YVO) на ортованадате иттрия, легированном неодимом, хром-рубиновый лазер, диодный лазер, лазер с диодной накачкой, эксимерный лазер, газовый лазер, полупроводниковый лазер, твердотельный лазер, лазер на красителе, рентгеновский лазер, лазер на свободных электронах, ионный лазер, лазер на смеси газов, химический лазер или комбинация указанных видов лазеров. Предпочтительными являются

лазеры Nd:YAG и лазеры на CO₂.

В качестве сварочной горелки может использоваться электронно-лучевое устройство, которое может включать в себя электронно-лучевое устройство для нагревания и наплавления металлической проволоки на базовый материал. Устройство для электронно-лучевой сварки может быть устроено и расположено так, чтобы направлять пучок электронов на конец металлической проволоки, расположенный над базовым материалом, например над ванной расплава в базовом материале, так, чтобы тепловая энергия, создаваемая пучком электронов электронно-лучевого устройства, плавила конец проволоки, образуя капли расплавленного материала, которые падают на базовый материал или в ванну расплава, которая находится ниже конца металлической проволоки. Пучок электронов электронно-лучевой сварочной горелки может также приносить тепловую энергию в ванну расплава и в окрестности ванны расплава.

Электронно-лучевая сварочная горелка может создавать изменяемую энергию на выходе, которую можно регулировать, чтобы обеспечить, по существу, постоянную мощность или величину тепловой энергии на металлической проволоке, которая обеспечивает практически постоянную скорость плавления металлической проволоки. Мощность или энергию, доставляемую пучком электронов электронно-лучевой сварочной горелки, можно изменять в зависимости от состояния металлической проволоки так, чтобы металлическую проволоку можно было подавать с постоянной скоростью и наплавлять на базовый материал или в ванну расплава в базовом материале. Электронно-лучевая сварочная горелка может содержать одну электронную пушку или более одной электронной пушки.

Электронно-лучевую сварочную горелку можно приводить в действие так, чтобы ток в электронном луче был практически постоянным, или так, чтобы ток луча можно было изменять во время плавления металлической проволоки и осаждения расплавленного металла на обрабатываемую деталь или в ванну расплава на обрабатываемой детали. Детектор может быть использован для обнаружения электронов, создаваемых электронно-лучевой сварочной горелкой, или для отслеживания плавления металлической проволоки.

Электронно-лучевые сварочные горелки коммерчески доступны и описаны в уровне техники. Электронно-лучевая сварочная горелка может быть выбрана так, чтобы она содержала электромагнитные катушки для модуляции электронного луча.

Электронная пушка может создавать энергию в форме сфокусированного пучка электронов, которым сообщается ускорение в направлении обрабатываемой детали. Ускорение электронов может быть осуществлено путем использования высокого напряжения (например, более 15 кВ, к примеру в интервале приблизительно от 15 до 150 кВ). В электронно-лучевой сварочной горелке электроны могут быть получены при помощи одной или более нагретых нитей. Выходную мощность электронно-лучевой сварочной горелки обычно можно контролировать путем ограничения или изменения потока электронов, падающего на обрабатываемую деталь. К примеру, может быть использована мощность электронного луча приблизительно до 30 кВт, но, как правило, эта мощность находится в интервале приблизительно от 2 до 10 кВт или от 3 до 6 кВт. Ток электронного луча, как правило, приблизительно составляет более 100 мА и может находиться в интервале приблизительно от 100 до 600 мА. Мощность электронного луча можно изменять, при этом ее задают посредством входного напряжения в интервале приблизительно от 100 до 500 В. К примеру, входное напряжение равно приблизительно 110 В.

Также предложены способы изготовления трехмерного объекта из металлического материала посредством изготовления твердой произвольной формы, в которых объект получают сплавлением последовательного осажденных слоев металлического материала на базовый материал, при этом способы содержат шаги, на которых используют первое нагревательное устройство для предварительного нагрева по меньшей мере части поверхности базового материала вплоть до образования ванны расплава на поверхности базового материала в том месте, на которое предстоит наносить металлический материал; подают металлическую проволоку ко второму нагревательному устройству в то место, в котором второе нагревательное устройство может нагревать и плавить металлическую проволоку так, чтобы расплавленный металлический материал плавящейся проволоки нанести на базовый материал и на предварительно нагретую или расплавленную или частично расплавленную область базового материала, если выполнялось предварительное нагревание; и перемещают базовый материал относительно положения первого и второго нагревательных устройств по заданной схеме так, чтобы последовательно осажденные слои расплавленного металлического материала затвердевали и образовывали определенный трехмерный объект. Перемещение базового материала относительно нагревательных устройств может быть осуществлено посредством перемещения базового материала при удержании одного или нескольких нагревательных устройств в неподвижном положении, перемещения одного или нескольких нагревательных устройств при удержании базового материала в неподвижном положении или перемещения базового материала и одного или нескольких нагревательных устройств. Перемещение базовой подложки и одного или более нагревательных устройств может быть осуществлено путем использования одного или более приводов, например механических, гидравлических приводов и/или рук-манипуляторов, перемещающихся оснований или опор, рельсов, направляющих и подобных устройств. В качестве первого и второго нагревательных устройств в способе можно использовать горелку РТА. Горелка РТА может быть электрически соединена с источником постоянного тока так, чтобы электрод горелки РТА был катодом, а металлическая

проволока была анодом. В некоторых системах нагревательным устройством, которое используется для формирования ванны расплава в базовом материале, может служить лазер, одиночный или в комбинации с другим лазером или грелкой РТА, или же электронная пушка, одиночная или в комбинации с другой электронной пушкой или лазером.

Также предложены способы подачи металлической проволоки к сварочной горелке. Способы могут содержать шаги, на которых подают некоторое количество металлической проволоки от источника проволоки так, чтобы дистальный конец металлической проволоки был расположен в источнике тепла, создаваемого сварочной горелкой; непрерывно определяют положение дистального конца металлической проволоки относительно источника тепла, создаваемого сварочной горелкой; и регулируют положение дистального конца металлической проволоки, чтобы гарантировать его расположение внутри источника тепла.

Дополнительные признаки и преимущества изобретения будут изложены в нижеследующем описании и частично будут очевидны из описания или могут быть поняты при практическом применении изобретения. Цели и другие преимущества изобретения будут достигнуты и реализованы посредством конструкции, подробно изложенной в описании и формуле изобретения, а также на приложенном чертеже.

Следует понимать, что как предшествующее раскрытие сущности изобретения, так и последующее подробное описание вариантов осуществления изобретения являются иллюстративными и предназначены для обеспечения дополнительного объяснения заявленного изобретения.

Перечень фигур

Прилагаемый чертеж, который приведен для дополнительного разъяснения изобретения, включен в данное описание и составляет часть этого описания, иллюстрирует варианты осуществления изобретения и вместе с описанием служит для объяснения принципов изобретения. Для ясности чертеж показан не в масштабе и некоторые компоненты опущены.

Чертеж представляет собой схематический вид сбоку варианта осуществления системы регулирования точности позиционирования металлической проволоки, соответствующей настоящему изобретению, при этом показана регулируемая направляющая опорная рама 500, к которой прикреплены компоненты системы подачи металлической проволоки и которая с возможностью вращения соединена с основной опорной рамой 900 посредством узла крепления, который включает в себя шарнир 800, поворотный опорный плунжер 810, соединенный с шарниром 800, опору 820, которая охватывает поворотный опорный плунжер 810, и соединитель 830, который связан с поворотным опорным плунжером 810 и шарнирно поддерживает поворотный опорный плунжер.

Осуществление изобретения

А. Определения.

Если не указано иное, все технические и научные термины, используемые в данном описании, имеют то же значение, которое обычно имеют в виду специалисты из области техники, к которой относятся изобретения. Все патенты, патентные заявки, опубликованные заявки и публикации, веб-сайты и другие опубликованные материалы, упоминаемые во всем настоящем описании, если не указано иное, в полном объеме включены в настоящую заявку посредством ссылки. В случае когда имеется множество определений для терминов, представленные в данном разделе преобладают. Если делается ссылка на URL или другой такой идентификатор или адрес, понятно, что такие идентификаторы могут изменяться, и конкретная информация в сети интернет может появиться и исчезнуть, однако путем поиска в сети интернет может быть найдена эквивалентная информация. Ссылка на них свидетельствует о доступности и общественной распространенности такой информации.

Используемые в настоящем документе формы единственного числа включают в себя также варианты множественного числа, если контекст четко не диктует иное.

В данном описании диапазоны и количества могут быть выражены как "приблизительно" конкретное значение или диапазон. "Приблизительно" также включает в себя точное количество. Следовательно, "приблизительно 5%" означает "приблизительно 5%", а также "5%". "Приблизительно" означает в пределах обычной экспериментальной погрешности для предназначающегося применения или цели.

Используемый в настоящем документе термин "опциональный" или "опционально" означает, что описанное далее событие или обстоятельство может быть, а может и не быть и что описание включает в себя случаи, когда событие или обстоятельство происходит, и случаи, когда оно не имеет места. Например, опциональный компонент в системе означает, что компонент может присутствовать или может отсутствовать в системе.

Используемый в настоящем документе термин "комбинация" относится к любой ассоциации между двумя элементами или среди более чем двух элементов. Ассоциация может быть пространственной или относиться к использованию двух или более элементов для общей цели.

Используемый в настоящем документе термин "сварочная горелка с плазменной дугой", или "горелка PAW" относится к сварочной горелке, которая может быть использована в плазменной дуговой сварке. Горелка выполнена таким образом, что газ может быть нагрет до высокой температуры с образованием плазмы и стать электропроводящим, затем плазма передает электрическую дугу к обрабатываемой детали, и интенсивное тепло дуги может плавить металл и/или сплавлять два куска металла друг с другом. Плазменная горелка может включать в себя сопло для сужения дуги, увеличивая тем самым

плотность энергии дуги. Плазмообразующий газ обычно представляет собой аргон. Плазмообразующий газ может подаваться вдоль электрода и ионизироваться и ускоряться вблизи катода. Дуга может быть направлена к обрабатываемой детали и является более стабильной, чем дуга свободного горения (например, в горелке TIG). Горелка PAW также обычно имеет внешнее сопло для подачи защитного газа. Защитный газ может представлять собой аргон, гелий или их комбинации, причем защитный газ способствует минимизации окисления расплавленного металла. Обычно в горелках PAW ток составляет до 400 А, а напряжение - от 25 до 35 В (но может быть примерно до 14 кВт). Настоящее изобретение не привязано к выбору конкретной горелки PAW или типу горелки PAW. Может быть использовано любое известное или возможное устройство, способное работать в качестве горелки PAW. Примером горелки PAW является горелка с плазменной наплавляющей дугой (горелка PTA).

Термин "сварочная горелка с плазменной наплавляющей дугой" или "горелка PTA", используемые в настоящем документе взаимозаменяемо, относятся к любому устройству, способному нагревать и переносить поток инертного газа в плазму посредством электрического дугового разряда и затем переносить поток плазмообразующего газа, содержащего электрическую дугу, через отверстие (например, сопло) для образования суженной струи, которая выходит из отверстия и передает интенсивное тепло плазменной дуги в целевую область. Электрод и целевая область могут быть электрически соединены с источником питания постоянного тока таким образом, что электрод горелки PTA становится катодом, а целевая область становится анодом. Это гарантирует, что струя плазмы, содержащая электрическую дугу, обеспечивает подачу высококонцентрированного теплового потока к малой площади поверхности целевой области с превосходным управлением поверхностной протяженностью и величиной теплового потока, подаваемого из горелки PTA. Горелка с плазменной наплавляющей дугой имеет преимущество обеспечения стабильных и согласованных дуг с малым блужданием и хорошей переносимостью отклонений длины между катодом и анодом. Таким образом, горелка PTA является подходящей как для образования ванны расплава в базовом материале, так и для нагрева и плавления подаваемой металлической проволоки. Горелка PTA может преимущественным образом иметь электрод, изготовленный из вольфрама, и сопло, изготовленное из меди. Однако изобретение не связано с каким-либо конкретным выбором или типом горелки PTA. Может использоваться любое известное или мыслимое устройство, способное функционировать как горелка PTA.

Термин "плотность энергии", используемый в настоящем документе, относится к количеству энергии, которое поступает на единицу площади, например от плазменной дуги, лазерного луча или пучка электронов.

Используемые в настоящем документе термины "первый", "второй", "третий" и т.д. могут использоваться в настоящем документе для описания различных элементов, компонентов, областей, слоев и/или участков, эти элементы, компоненты, области, слои и/или участки не следует ограничивать этими терминами. Эти термины могут использоваться только для различения одного элемента, компонента, области, слоя или участка от другой области, слоя или участка. Термины, такие как "первый", "второй" и другие численные термины, при использовании в данном описании не подразумевают последовательность или порядок, если это четко не указано в контексте. Таким образом, первый элемент, компонент, область, слой или участок, как описано ниже, можно назвать вторым элементом, компонентом, областью, слоем или участком без отклонения от раскрытых вариантов осуществления изобретения.

Термин "металлический материал", используемый в настоящем документе, относится к любому известному или мыслимому металлу или металлическому сплаву, который может быть сформован в проволоку и использован в процессе изготовления твердой произвольной формы для формирования трехмерного объекта. Примеры подходящих материалов включают следующее, но не ограничиваются только им: титан и сплавы титана, такие как сплавы Ti-6Al-4V.

Термин "аналогичный металлический материал", используемый в настоящем документе, означает, что данный металлический материал представляет собой такой же металл или металлический сплав, как и металлический материал, с которым производится сравнение.

Термин "удерживающая подложка", используемый в настоящем документе, относится к целевой подложке, на которую осаждают дополнительный материал, такой же или отличный от материала удерживающей подложки, с использованием технологии изготовления твердой произвольной формы SFFF (от англ. solid free form fabrication) для формования обрабатываемой детали. В приводимых в качестве примера вариантах осуществления изобретения удерживающая подложка представляет собой плоский лист. В альтернативных вариантах осуществления изобретения удерживающая подложка может быть штампованной деталью. В альтернативных вариантах осуществления изобретения удерживающая подложка может представлять собой объект, на который должен быть осажден дополнительный материал. В примерных вариантах осуществления изобретения удерживающая подложка может стать частью обрабатываемой детали. Материал для удерживающей подложки может представлять собой металл или металлический сплав. В примерных вариантах осуществления изобретения удерживающая подложка изготовлена из того же металла, что и подаваемый материал проволоки.

Термин "базовый материал", используемый в настоящем документе, относится к целевому материалу, на который наносят металлический материал для формирования трехмерного объекта. Базовым мате-

риалом является удерживающая подложка при осаждении первого слоя металлического материала. После осаждения одного или нескольких слоев металлического материала на удерживающую подложку, базовым материалом будет верхний слой осажденного металлического материала, на который должен быть осажден новый слой металлического материала.

Термин "поверхность с увеличенным сцеплением (трением)", используемый в настоящем документе, относится к поверхности, которая была модифицирована так, чтобы демонстрировать более сильное сцепление, чем необработанная гладкая поверхность того же материала. Модифицирование поверхности, увеличивающее трение, может заключаться в придании поверхности шероховатости, или включение в поверхность выступов, или создание зернистости. Такая модифицированная поверхность может усиливать фрикционный контакт (по сравнению с немодифицированной поверхностью) с определенной модифицированной поверхностью или иной поверхностью, например с металлической проволокой, которая находится в контакте с такой поверхностью, чтобы минимизировать проскальзывание между модифицированной поверхностью и поверхностью, с которой она находится в контакте.

Используемый в настоящем документе термин "обрабатываемая деталь" относится к металлическому телу, изготовленному с использованием процесса изготовления твердой произвольной формы.

Термины "модель, спроектированная с помощью компьютера" или "модель САПР", используемые в настоящем документе взаимозаменяемо, относятся к любому известному или мыслимому виртуальному трехмерному представлению объекта, которое должно быть сформировано и которое может быть использовано в системе управления устройства согласно второму аспекту изобретения: для регулирования положения и перемещения удерживающей подложки и для эксплуатации сварочной горелки со встроенным устройством подачи проволоки таким образом, что создается физический объект сплавлением последовательных осажденных слоев металлического материала на удерживающей подложке в виде рисунка, который приводит к созданию физического объекта в соответствии с виртуальной трехмерной моделью объекта. Это может быть, например, получено путем формирования виртуальной векторной слоевой модели трехмерного объекта путем первого разделения виртуальной трехмерной модели на набор виртуальных параллельных слоев и затем разделения каждого из параллельных слоев на набор виртуальных квазиодномерных элементов. Затем физический объект может быть сформирован посредством вовлечения системы управления для осаждения и сплавления ряда квазиодномерных частей подаваемого металлического материала на опорной подложке по шаблону в соответствии с первым слоем виртуальной векторной слоевой модели объекта. Затем повторяют последовательность для второго слоя объекта посредством осаждения и сплавления ряда квазиодномерных частей свариваемого материала на предыдущем осажденном слое по шаблону в соответствии со вторым слоем виртуальной векторной слоевой модели объекта. Повторение продолжает процесс осаждения и сплавления слоев слой за слоем для каждого последующего слоя виртуальной векторной слоевой модели объекта до тех пор, пока не будет сформирован весь объект. Однако изобретение не связано с какой-либо конкретной моделью САПР и/или компьютерным программным обеспечением для управления системой управления устройства согласно изобретению и не связано с каким-либо конкретным типом системы управления. Может быть использована любая известная или возможная система управления (модель САПР, компьютерное программное обеспечение, аппаратные средства компьютера, исполнительные устройства и т.д.), годная для построения металлических трехмерных объектов путем изготовления твердой произвольной формы. Система управления может быть настроена так, чтобы отдельно управлять первой сварочной горелкой, например горелкой РТА, для предварительного нагрева поверхности базового материала и в некоторых применениях для, по меньшей мере, частичного плавления части поверхности для образования ванны расплава, и второй сварочной горелкой, например горелкой РТА, для наплавления подаваемой проволоки из металлического материала на предварительно нагретую поверхность и/или ее плавления в бассейне расплава.

В. Система управления положением проволоки.

Установлено, что скорость осаждения расплавленного металла на формуемую обрабатываемую деталь, изготавливаемую посредством изготовления твердой произвольной формы, может быть увеличена за счет системы управления положением проволоки, которая поддерживает металлическую проволоку в надлежащем положении, так что металлическую проволоку можно непрерывно подавать к сварочной горелке и поддерживать в надлежащем положении внутри дуги сварочной горелки, чтобы обеспечить нагревание и плавление металлической проволоки. Скорость подачи проволоки можно поддерживать практически постоянной так, чтобы металлическая проволока непрерывно поступала к сварочной горелке для плавления и осаждения на обрабатываемую деталь. Непрерывная подача металлической проволоки к сварочной горелке в правильном положении препятствует возникновению нежелательных разрывов осаждения металла на обрабатываемую деталь. Любое нарушение непрерывности наплавления металла может приводить к нарушению структуры, неровностям и дефектам обрабатываемой детали, что в конечном счете могло бы приводить к отслоению, усталости металла или образованию трещин в конечном продукте, что потенциально делает продукт непригодным для предполагаемой области применения. За счет поддержания металлической проволоки в надлежащем положении относительно источника тепла, создаваемого сварочной горелкой, скорость непрерывной подачи металлической проволоки может быть увеличена, что даст возможность увеличить скорость осаждения расплавленного металла на обрабаты-

ваемую деталь. Соответственно неизменное надлежащее расположение металлической проволоки в источнике тепла, создаваемого сварочной горелкой, увеличивает эффективность процесса изготовления твердой произвольной формы.

Полнее представить настоящее изобретение и его объем можно, опираясь на прилагаемые чертежи (которые кратко будут охарактеризованы ниже), на последующее подробное описание предпочтительных вариантов осуществления изобретения и на прилагаемую формулу изобретения.

Как показано на чертеже, система точного позиционирования проволоки в электрической дуге содержит регулируемую направляющую опорную раму 500, к которой прикреплены компоненты системы подачи металлической проволоки, и неподвижную основную опорную раму 900. Основная опорная рама 900 содержит узел крепления, который включает в себя шарнир 800, поворотный опорный плунжер 810, соединенный с шарниром 800, опору 820, которая охватывает поворотный опорный плунжер 810, и соединитель 830, который связан с поворотным опорным плунжером 810 и поддерживает поворотный опорный плунжер 810 с возможностью вращения последнего. Узел крепления присоединен к основной опорной раме 900. Узел крепления может быть присоединен посредством сварки, винтов, болтов или иных соединительных устройств. В варианте осуществления, изображенном на чертеже, узел крепления присоединен к основной опорной раме 900 посредством винтов, которые фиксируют опору 820 к основной опорной раме 900. Основная опорная рама является неподвижной в своем положении. Основная опорная рама 900 может содержать прорезы, отверстия, вырезы или их сочетания, как показано на чертеже, для рассеяния тепла. Избыток тепла может приводить к деформации рамы.

Поворотный опорный плунжер 810 выполнен с возможностью вращения вокруг горизонтальной оси. Поворотный опорный плунжер 810 связан с шарниром 800, при этом шарнир 800 прикреплен к одной поверхности регулируемой направляющей опорной рамы 500. Основная опорная рама 900 может быть выполнена из любого материала, способного служить опорой компонентам, которые крепятся к указанной раме. Согласно некоторым вариантам осуществления изобретения неподвижная основная опорная рама 900 может быть выполнена из стали, нержавеющей стали или никелевого сплава, такого как инконель. Соединитель 830 прикреплен к дистальному концу поворотного опорного плунжера 810, при этом поворотный опорный плунжер 810 подвешен на соединителе 830 внутри опоры 820. Соединитель 830 может представлять собой любую подходящую конструкцию и структуру из подшипников, планок с дорожками качения, конических подшипников, осей или втулок или комбинацию указанных элементов, которая дает возможность поворотному опорному плунжеру 810 поворачиваться.

Противоположный дистальный конец поворотного опорного плунжера 810 связан с шарниром 800, который прикреплен к регулируемой направляющей опорной раме 500. Поворотный опорный плунжер 810 обладает достаточной механической прочностью, чтобы физически выдерживать усилия растяжения, среза и кручения, возникающие от регулируемой направляющей опорной рамы 500 при ее подвешивании на основной опорной раме 900. Поворотный опорный плунжер 810 может быть выполнен из любого материала, который способен поддерживать компоненты, прикрепленные к плунжеру. Согласно некоторым вариантам осуществления изобретения опорный плунжер 810 может быть выполнен из нержавеющей стали, углеродистой стали, легированной стали с добавками хрома и молибдена или из никелевого сплава, такого как инконель. К примеру, плунжер может быть изготовлен из нержавеющей стали марки AIS 303. Шарнир 800 может включать в себя поворотную часть. Шарнир 800 дает возможность регулируемой направляющей опорной раме 500 поворачиваться вокруг оси в горизонтальной плоскости так, что регулируемую направляющую опорную раму 500 можно устанавливать ближе к неподвижной основной опорной раме 900 или дальше от рамы 900. Такое изменение положения регулируемой направляющей опорной рамы 500 относительно неподвижной основной опорной рамы 900 приводит к тому, что дистальный конец металлической проволоки 180 меняет свое положение относительно дуги горелки 600 РТА. Регулируемая направляющая опорная рама 500 выполнена из материала, обладающего достаточной механической прочностью, чтобы физически выдерживать усилия растяжения, среза и кручения, возникающие от поддержания компонентов, прикрепленных к регулируемой направляющей опорной раме 500. К примерам материалов относится сталь, углеродистая сталь, нержавеющая сталь, сплав инвар (также известный как инвар 36), титан и титановые сплавы, никель и никелевые сплавы, такие как инконель. В некоторых случаях направляющая опорная рама 500 выполнена из сплава инвар (содержащего 36% никеля). В целях рассеяния тепла направляющая опорная рама 500 может содержать прорезы, отверстия и вырезы или их комбинацию (как, например, вырез 550 на чертеже). Избыточное тепло может приводить к деформации рамы и возможному постоянному нарушению центровки. Вырезы также снижают вес регулируемой направляющей опорной рамы 500.

Шарнир 800 может представлять собой любую подходящую конструкцию и структуру из подшипников, планок с дорожками качения, конических подшипников, осей или втулок или комбинацию указанных элементов, которая дает возможность совершать вращение поворотному опорному плунжеру 810 и регулируемой направляющей опорной раме 500. Шарнир 800 выполнен из материала, обладающего достаточной механической прочностью, чтобы физически выдерживать усилия растяжения, среза и кручения, возникающие от поддержания компонентов, прикрепленных к регулируемой направляющей опорной раме 500. Согласно некоторым вариантам осуществления изобретения шарнир 800 может быть

выполнен из алюминия или алюминиевого сплава, титана или титанового сплава, стали, нержавеющей стали или никеля или никелевого сплава, такого как инконель. К примеру, шарнир 800 может быть изготовлен из алюминиевого сплава EN AW-6063T6/6082T6. Направляющая опорная рама 500 может быть выполнена из материала, который пригоден для того, чтобы нести на себе компоненты, прикрепляемые к раме. Согласно некоторым вариантам осуществления изобретения шарнир 800 может быть выполнен из стали, нержавеющей стали, углеродистой стали, легированной стали с добавками хрома и молибдена, или из никеля или никелевого сплава, такого как инконель. Элементы шарнира 800 выполнены из материала, стойкого к изменениям при температурах, возникающих в ходе изготовления твердой произвольной формы. Например, выбираемый материал должен быть пригоден для работы при температурах в интервале приблизительно от 15 до 100°C. Шарнир 800 дает возможность перемещать регулирующую направляющую опорную раму 500 относительно оси вращения в горизонтальной плоскости. Шарнир 800 может быть полностью герметичным и может контролировать вращательное движение в любом направлении. Шарнир 800 может содержать поворотные части с антифрикционными подшипниками, или роликовыми подшипниками, или с комбинацией указанных элементов. Следует понимать, что может быть использовано шарнирное устройство любого типа, которое позволяет осуществлять вращательное движение нагруженной опоры.

Двигатель 570 приводит во вращение прикрепленный к нему резьбовой элемент, который функционально связан с панелью 920, соединенной с основной опорной рамой 920. Вращение указанного резьбового элемента обеспечивает управляемое перемещение регулирующей направляющей опорной рамы 500 в горизонтальной плоскости. Двигатель 570 может быть связан с контроллером (не показан) и может управляться посредством контроллера, который может управлять движением резьбового элемента, ограничивая величину поворота и направление поворота последнего. Контроллер двигателя может включать в себя компьютерную программную часть и аппаратную часть и дополнительные исполнительные органы и может быть выполнен с возможностью изменения питания, подаваемого на двигатель, или регулирования скорости и направления и продолжительности работы двигателя, или автоматического включения двигателя в ответ на сигнал, или с возможностью осуществления любой комбинации из указанных функций. Изобретение не привязано к какому-либо конкретному компьютеру или компьютерной программе для управления контроллером двигателя. Контроллер двигателя может работать отдельно от системы управления или может находиться под управлением системы управления.

Резьбовой элемент может представлять собой винт, или болт, или аналогичный соединитель, поддерживающий винтовой резьбовой механизм, который может входить в зацепление с отверстием с внутренней резьбой в панели 920, которая прикреплена к основной опорной раме 900 для приема резьбового элемента. Резьбовой элемент, присоединенный к двигателю 570, входит в зацепление с отверстием с внутренней резьбой в панели 920, чтобы обеспечить резьбовое зацепление между регулирующей направляющей опорной рамой 500 и основной опорной рамой 900, посредством которого регулируемая рама 500 перемещается ближе к неподвижной основной опорной раме 900 или дальше от рамы 900 в ответ на вращение резьбового элемента, приводимого в движение двигателем. Когда двигатель 570, с которым связан резьбовой элемент, вращает указанный резьбовой элемент в одном направлении, регулируемая направляющая опорная рама 500 перемещается в направлении неподвижной основной опорной рамы 900, а когда двигатель 570 вращает резьбовой элемент в противоположном направлении, регулируемая направляющая опорная рама 500 отводится дальше от неподвижной основной опорной рамы 900. Для укрытия и защиты резьбового элемента в состав механизма может быть включен подвижный рукав, который может выдвигаться и убираться.

В качестве двигателя 570 может использоваться стандартный двигатель постоянного тока, приводимый в действие электрическим сигналом управления, или шаговый двигатель, который позволяет точно задавать угол поворота резьбового элемента за счет электронного управления числом импульсов питания, подаваемых на двигатель. При работе двигатель 570 может вращать свой вал в прямом и обратном направлениях. Блок управления может быть запрограммирован на управление вращением двигателя в прямом и обратном направлениях в ответ на признак того, что металлическую проволоку необходимо переставить в требуемое или предпочтительное положение относительно источника тепла - сварочной горелки. В комплекте двигателя 570 может быть электронный блок управления, который связан с двигателем 570 и который можно запрограммировать на прекращение вращения шагового двигателя фактически моментально, как только дистальный конец металлической проволоки окажется надлежащим образом расположенным в требуемом месте внутри дуги сварочной горелки.

Сварочная горелка поддерживается в своем положении за счет того, что она прикреплена к неподвижной основной опорной раме 900. Сварочной горелкой может служить источник тепла, такой как плазменная дуга, лазерный луч, пучок электронов и т.п. К примерам сварочных горелок относятся горелки плазменно-дуговой сварки; горелки дуговой сварки вольфрамовым электродом в газовой среде; горелки сварки металлическим электродом в газовой среде; горелки сварки металлическим электродом в среде инертного газа; горелки сварки вольфрамовым электродом в среде инертного газа; лазерные сварочные горелки; электронно-лучевые сварочные горелки или любая комбинация указанных устройств. Сварочная горелка как источник тепла расплавляет металлическую проволоку, подаваемую в надлежа-

щее положение относительно источника тепла сварочной горелки.

Примером сварочной горелки является горелка с плазменной наплавляющей дугой (горелка РТА, от англ. plasma transferred arc). Горелка РТА может иметь любую конструкцию, которая способна создавать электрическую дугу для нагревания и плавления металлической проволоки, как, например, в случае газовой дуговой сварки металлическим электродом (GMAW, от англ. gas metal arc welding), и, в частности, с использованием неактивных газов для образования дуги. Металлическую проволоку вынуждают расплавляться в плазме, создаваемой горелкой, в которой используется электрическая дуга, при этом плавящийся материал металлической проволоки осаждают в ванну расплава на обрабатываемой детали, чтобы добавлять к ней материал и формировать металлические тела с формой, приближенной к чистой. Скорость подачи и положение металлической проволоки можно контролировать и изменять в соответствии с тем, как источник питания влияет на горелку РТА, чтобы обеспечить непрерывное нагревание металлической проволоки и ее плавление, когда проволока достигает заданного положения над ванной расплава в базовом материале. В системах изготовления предметов методом изготовления твердой произвольной формы могут использоваться одна или более сварочных горелок. Примеры сварочных систем раскрыты в патентных документах WO 2011/019287, US 7220935, US 9145832, а также US 2010/0276396, US 2013/0140280 и US 2014/0061165.

Металлическую проволоку, как правило, подают к сварочной горелке в выпрямленном виде, без криволинейности, перекрутки или деформации. Соответствующая настоящему изобретению система точного позиционирования проволоки в дуге может быть использована с любой системой изготовления предметов посредством изготовления твердой произвольной формы, независимо от того, какого типа сварочная горелка (источник тепла) используется для плавления металлической проволоки: горелка РАW, например, такая как горелка с плазменной наплавляющей дугой (горелка РТА), электронный пучок, или лазер, или их комбинации. Система точного позиционирования проволоки в дуге, соответствующая настоящему изобретению, может быть использована с любой системой изготовления предметов посредством изготовления твердой произвольной формы, в которой используется одна сварочная горелка или комбинация сварочных горелок. Когда используется комбинация горелок, все горелки могут быть одинаковыми, или может быть использовано сочетание разных горелок. Согласно некоторым вариантам применения может быть использована одиночная сварочная горелка (одиночный источник тепла) в виде горелки РТА, электронного пучка или лазера. Согласно некоторым вариантам может быть использована система с двумя сварочными горелками, в которой первая горелка формирует ванну расплава на поверхности обрабатываемой детали, а вторая горелка расплавляет металлическую проволоку в ванну расплава. Первая горелка может представлять собой горелку РАW, электронный пучок или лазер и вторая горелка может представлять собой горелку РАW, электронный пучок или лазер. Таким образом, хотя в примерах вариантов осуществления изобретения будет рассмотрено использование горелок РАW, таких как горелки РТА, данные примеры не несут ограничительного характера. Задача регулирования положения металлической проволоки, рассматриваемая в настоящем изобретении, может быть решена с любым описываемым источником тепла, включая источники на основе лазера и электронного пучка. При использовании теплового источника на основе лазера, вместо позиционирования конца металлической проволоки в электрической дуге, как это было описано выше, конец металлической проволоки располагают в лазерном луче. Аналогично при использовании теплового источника на основе электронного пучка, положение конца металлической проволоки регулируют так, чтобы он находился в пучке электронов, а не в электрической дуге, как это было описано в связи с использованием горелок РТА или других горелок РАW.

Согласно примеру варианта осуществления система точного позиционирования проволоки в дуге, соответствующая настоящему изобретению, может быть использована в системе с двумя горелками, например такой, какая раскрыта в патентном документе US 2014/0061165. В таких системах важно обеспечить возможность подачи прямой металлической проволоки, чтобы обеспечить центровку металлической проволоки в дуге сварочной горелки. Как показано на чертеже, первая горелка 600 РАW и вторая горелка 610 РАW прикреплены к неподвижной основной опорной раме 900. Горелки 600 и 610 могут быть прикреплены к держателю 650 горелки, который прикреплен к неподвижной основной опорной раме 900 посредством опоры 940. Горелки 600 и 610 являются неподвижными в своем положении, чтобы сохранять положение по отношению друг к другу.

Как показано на чертеже, горелка 610 РАW взаимодействует с поверхностью базового материала, чтобы обеспечить предварительный нагрев по меньшей мере участка базового материала в том месте, на которое предстоит осадить металлический материал. Горелка 600 РАW тогда нагревает и плавит металлическую проволоку так, чтобы расплавленный металлический материал проволоки осадить на базовый материал, и на предварительно разогретую, или расплавленную, или частично расплавленную область базового материала, если выполняется предварительный нагрев. Перемещение базового материала относительно положения первой и второй горелок РАW по заранее заданной схеме дает возможность последовательно наплавлять металлический материал с целью формирования трехмерного объекта.

Компоненты системы подачи проволоки прикреплены к регулируемой направляющей опорной раме 500. Как показано на чертеже, устройство 490 направления проволоки, колесное устройство 485 свободного хода, счетчик 480 оборотов и основное подающее устройство, которое включает в себя первый мо-

торизованный механизм 475 подачи проволоки, двигатель 470, счетчик оборотов 465 и второй моторизованный механизм 460 подачи проволоки, прикреплены к рамному соединителю 495 механизма подачи проволоки, который прикреплен к регулируемой направляющей опорной раме 500. Основное подающее устройство может осуществлять контроль проскальзывания металлической проволоки 180, чтобы гарантировать, что по мере того как металлическая проволока 180 проходит через систему подачи, в проволоке не образуются ни перекрутки, ни изгибы, ни иные необратимые деформации. Проскальзывание может быть обнаружено путем сравнения вращения колесного устройства 485 свободного хода и вращения основного подающего устройства.

Устройство 490 направления проволоки может содержать первый желобчатый ролик и второй желобчатый ролик, между которым образован канал, через который может проходить металлическая проволока 180. Как вариант, желобчатые ролики могут быть смещены пружиной, чтобы они находились в контакте с металлической проволокой 180. Колесное устройство 495 свободного хода может содержать первый желобчатый ролик и второй желобчатый ролик, между которым образован канал, через который может проходить металлическая проволока 180. Данные желобчатые ролики могут быть смещены пружиной, чтобы они находились в контакте с металлической проволокой 180. Колесное устройство 495 свободного хода может принимать металлическую проволоку 180 после того, как последняя пройдет через устройство 490 направления проволоки, и подавать металлическую проволоку 180 в счетчик 480 оборотов.

Основное подающее устройство содержит двигатель 470, который соединен с желобчатыми роликами моторизованных механизмов 460 и 475 подачи проволоки, и может приводить указанные ролики во вращение. Желобчатые ролики моторизованных механизмов 460 и 475 подачи проволоки могут содержать в своих канавках выступы, которые могут вступать в контакт с металлической проволокой 180 и продвигать металлическую проволоку 180 сквозь ролики. Указанные выступы в канавках могут увеличивать силы сцепления между канавками роликов и металлической проволокой 180, что обеспечивает фрикционный контакт роликов с проволокой 180 и помогает продвигать проволоку сквозь ролики. Желобчатые ролики могут быть выполнены из износостойкого металла. Желобчатые ролики могут быть выполнены или содержать покрытие из стали, углеродистой стали, нержавеющей стали, легированной стали, содержащей добавки хрома и молибдена, титана, титанового сплава, или никеля, или никелевого сплава.

После выхода из моторизованного механизма 460 подачи проволоки металлическая проволока 180 движется сквозь устройство 400 защиты проволоки, чтобы затем войти в направляющее устройство 120. Устройство 400 защиты проволоки может свести к минимуму какой-либо контакт проволоки с другими элементами системы и обеспечивает прямолинейный путь для подачи металлической проволоки 180 к направляющему устройству 120. Устройство 400 защиты проволоки может быть выполнено из любого материала, пригодного для передачи металлической проволоки 180. Устройство 400 защиты проволоки может быть выполнено из электроизоляционной керамики или может содержать электроизоляционную керамику. Такие виды керамики известны в данной области техники и могут включать в себя оксиды или нитриды Al, B, Zr, Mg, Y, Ca, Si, Ce, In и Sn и их комбинации (см. патентные документы US 6344287, US 4540879 и US 7892597). Устройство 400 защиты проволоки может представлять собой или содержать нитрид алюминия, оксид алюминия, нитрид магния, оксид магния, кварц, нитрид кремния, нитрид бора, оксид циркония, диоксид циркония, или смеси, или их комбинации. Примером керамики является оксид алюминия RAPAL®100 (от компании Rauschert Heinersdorf-Pressing GmbH, Прессинг, Германия). Устройство 400 защиты проволоки может содержать центральное отверстие, через которое может проходить металлическая проволока 180. В типичном случае центральное отверстие имеет форму, которая позволяет легко размещать металлическую проволоку 180. Например, когда металлическая проволока 180 имеет круглое поперечное сечение, устройство 400 защиты проволоки может содержать центральное отверстие круглого сечения.

Электроизоляционная керамика может содержать обработку поверхности, обращенной к проволоке, с целью уменьшения шероховатости поверхности, которая обращена к проволоке. Обработка поверхности может способствовать минимизации или исключению царапин или задигов металлической проволоки, когда последняя проходит сквозь электроизоляционную керамику. К примеру, поверхность электроизоляционной керамики может быть обработана до состояния блеска, что уменьшает силы притяжения между поверхностью устройства защиты проволоки и проволокой, которые вызывают трение. Для сокращения пор поверхности, трещин или деформаций поверхности может быть использовано лазерное глянцеование, чтобы уменьшить трение и получить более гладкую поверхность изоляционной керамики. Поверхность керамики может быть отполирована. Поверхность электроизоляционной керамики может быть обработана, чтобы получить алмазоподобное углеродное покрытие. Для снижения трения на поверхность электроизоляционной керамики может быть нанесен политетрафторэтилен (ПТФЭ). Обработка поверхности может способствовать минимизации появления мелких частиц металлической проволоки, которые могут образовываться в силу взаимодействия металлической проволоки с шероховатой поверхностью изоляционной керамики.

Направляющее устройство 120 прикреплено к регулируемой направляющей опорной раме 500 посредством опорного элемента 300. Устройство 400 защиты проволоки прикреплено к опорному элементу 300 посредством соединителя 450. Двигатель 470 может быть связан с системой управления, которая

связана со сварочным устройством, при этом система управления может посылать сигнал мотору 470 для продвижения металлической проволоки 180 к сварочной горелке 600. Двигатель 470 может непрерывно подавать металлическую проволоку 180 к сварочной горелке 600 при условии, если он не получает от системы управления сигнал на прекращение подачи металлической проволоки 180. Направляющее устройство может быть выполнено из любого материала, совместимого с условиями плазменно-дуговой сварки. Согласно некоторым вариантам осуществления направляющее устройство выполнено из титана или титанового сплава или содержит титан или титановый сплав, в котором содержится Ti в сочетании с Al, V, Sn, Zr, Mo, Nb, Cr, W, Si и Mn или в сочетании с комбинацией указанных элементов. К примеру, направляющее устройство может быть выполнено из материала, содержащего Cu и W. Примерами титанового сплава могут служить, например, Ti-6Al-4V, Ti-6Al-6V-2Sn, Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo, Ti-45Al-2Nb-2Cr, Ti-47Al-2Nb-2Cr, Ti-47Al-2W-0.5Si, Ti-47Al-2Nb-1Mn-0.5W-0.5Mo-0.2Si и Ti-48Al-2Nb-0.7Cr-0.3Si.

Система управления может включать в себя компьютерный процессор или центральное процессорное устройство (ЦПУ), дисплей ЦПУ, один или более источников питания, соединения источников питания, сигнальные модули, такие как модули ввода и/или вывода, интегрированное экранирующее устройство аналоговых сигналов, запоминающие устройства, печатные платы, микросхемы памяти или другие средства хранения, долговременный машиночитаемый носитель данных, имеющий машиночитаемую программу, встроенную в него, или любую их комбинацию. Машиночитаемая программа может содержать соответствующее программное обеспечение для частичной или полной автоматизации любой одной или комбинации систем. Машиночитаемый носитель информации может содержать надлежащую программу для отслеживания и/или регулирования параметра, например поворота резьбового элемента, скорости вращения двигателя, температуры, давления, положения обрабатываемой детали, скорости осаждения или любой комбинации указанных параметров. Примеры управляющих модулей включают в себя, но не ограничиваются ими, SIMATIC-S7-1500 фирмы Siemens AG (Мюнхен, Германия), систему IndraMotion MTX фирмы Bosch Rexroth AG (Лор-на-Майне, Германия) и компактную промышленную компьютерную систему SIGMATEK C-IPC фирмы SIGMATEK GmbH & Co KG (Лампрехтсхаузен, Австрия).

К опорному элементу 300 может также быть прикреплен узел 210 контактного наконечника, который включает в себя электрический контактный блок 200 и электрический соединитель 230. Электрический контактный блок 200 содержит сменный наконечник, который вступает в контакт с металлической проволокой 180. Электрический соединитель 230 дает возможность электрически подключать металлическую проволоку 180 к источнику электропитания.

Электрический контактный блок 200 может быть выполнен из меди или медного сплава или может содержать медь или медный сплав. Медный сплав может содержать любую медь стандарта ASTM из классов от II до X. Медный сплав может содержать медь в сочетании с любым из элементов: Ag, Al, Be, Bo, Cr, In, Mg, Ni, Sn, Sr, W, Zn, или Zr, или их комбинации. Например, контактный блок может быть выполнен из материала, содержащего Cu и W, например из композита Cu/W.

Электрический контактный блок 200 обеспечивает подачу электрического тока к металлической проволоке 180 через сменный контактный наконечник электрического контактного блока 200. Сменный контактный наконечник выполнен из меди или медного сплава или содержит медь или медный сплав. Медный сплав может содержать любую медь стандарта ASTM из классов от II до X. Медный сплав может содержать медь в сочетании с любым из элементов: Ag, Al, Be, Bo, Cr, In, Mg, Ni, Sn, Sr, W, Zn, или Zr, или их комбинации. Например, контактный наконечник может представлять собой материал, содержащий Cu и W, например из композита Cu/W. Примером может служить сплав Brocadur WK20 (от компании Brouwer Metaal B.V., Голландия, Нидерланды), который содержит приблизительно 80% W и 20% Cu. Может быть использован контактный наконечник любой подходящей конструкции. К примеру, контактный наконечник может содержать аксиальное отверстие для подачи проволоки; при этом в контактном наконечнике может быть выполнен V-образный паз, который проходит от наружной стенки к оси, причем аксиальное отверстие ведет к нижнему участку паза. Нижний участок паза может быть наклонен в сторону оси к области, примыкающей к отверстию. Контактный наконечник может содержать узел прижатия металлической (электродной) проволоки к нижнему участку паза и стенкам, при этом механизм содержит пружину, которая входит в паз и прилегает к электродной проволоке.

Другая конструкция контактного наконечника может включать в себя медное сопло с отверстием, через которое подаваемый от источника расходимый электрод в форме выпрямленной металлической проволоки вынуждают проходить с регулируемой скоростью. Как медное сопло, так и обрабатываемую деталь электрически подключают к источнику электропитания, устанавливая между ними электрический потенциал. Когда металлическая проволока проходит через медное сопло, она вступает с соплом в контакт и, таким образом, электрически соединяется с источником электрического питания. Когда наконечник (дистальный концевой участок) металлической проволоки оказывается на определенном расстоянии над областью осаждения/наплавления, указанный электрический потенциал создает электрическую дугу на промежутке между наконечником металлической проволоки и областью осаждения/наплавления, которая находится ниже. Электрическая дуга расплавляет наконечник поступающей металлической проволоки, и, таким образом, расплавленный металлический материал наносится на область наплавления.

В варианте осуществления изобретения, показанном на чертеже, направляющее устройство 120

расположено ниже электрического контактного блока 200. Электрический контактный блок 200 может содержать сменный контактный наконечник, электрически соединенный с соединителем 230, для присоединения контактного наконечника к источнику питания постоянного тока. Электрический контактный блок 200 может давить на контактный наконечник 215 вниз для приведения его в контакт с металлической проволокой 180. Давление на контактный наконечник для удержания последнего в контакте с металлической проволокой может быть получено, например, при помощи пружины. Когда контактный наконечник 215 находится в контакте с металлической проволокой 180, оказывается замкнутой электрическая цепь горелки 600 PAW.

Показано, что направляющее устройство 120 и электрический контактный блок 200 соединены с опорным элементом 300. Направляющее устройство 120 и электрический контактный блок 200 могут быть термически изолированы от опорного элемента 300 путем размещения теплоизоляционного материала между точками контакта. Металлическую проволоку 180 подают к одному концу направляющего устройства 120. Металлическая проволока проходит сквозь направляющее устройство 120 и выходит из другого конца направляющего устройства 120, где она оказывается в плазменной дуге над точкой осаждения материала на обрабатываемой детали. Направляющее устройство 120 может иметь любую форму при условии, что ее конструкция рассчитана на прием металлической проволоки 180 и позволяет металлической проволоке 180 проходить через направляющее устройство без помех. Наружная часть направляющего устройства 120 может иметь в поперечном сечении форму круга, овала, эллипса или многоугольника, например квадрата, треугольника, четырехугольника, пятиугольника, шестиугольника, восьмиугольника, или может представлять собой комбинацию указанных форм.

Направляющее устройство 120 может охлаждаться текучей средой. Например, направляющее устройство может быть выполнено таким образом, чтобы оно включало в себя внутренний путь потока текучей среды через направляющее устройство. Текучая среда может представлять собой любую подходящую текучую среду, такую как вода, спирт C_1-C_5 , полиальфаолефин, алкиленгликоль, например этиленгликоль или пропиленгликоль, или их смеси. В некоторых вариантах осуществления охлаждающая текучая среда представляет собой воду, смесь воды и пропиленгликоля или смесь воды и этиленгликоля. Охлаждающая текучая среда может включать в себя добавки, например соли, ингибиторы коррозии, регуляторы pH или их комбинации.

Направляющее устройство может быть электрически изолировано от металлической проволоки с использованием электроизолирующей обшивки, содержащей электроизолирующий материал, пригодный для использования в условиях, которым подвержено направляющее устройство во время сварки. Электроизолирующий материал может представлять собой или содержать электроизолирующую керамику. Такая керамика известна в данной области техники и может включать в себя оксиды или нитриды следующих элементов: Al, B, Zr, Mg, Y, Ca, Si, Ce, In и Sn и их комбинации (см., например, US 6344287 (Celik et al., 2002); 4540879 (Haerther et al., 1985); и 7892597 (Hooker et al., 2011)). Электроизолирующий материал может представлять собой или содержать нитрид алюминия, оксид алюминия, нитрид магния, оксид магния, кварц, нитрид кремния, нитрид бора, диоксид циркония и их смеси или их комбинации.

Электроизолирующая обшивка может содержать центральное отверстие, сквозь которое может проходить металлическая проволока. В типичном случае центральное отверстие имеет форму, которая позволяет легко разместить металлическую проволоку. Например, когда металлическая проволока имеет круглое поперечное сечение, электроизолирующая обшивка содержит центральное отверстие круглого сечения. Как правило, центральное отверстие электроизолирующей обшивки имеет диаметр, который слегка превышает диаметр металлической проволоки. Например, если металлическая проволока имеет диаметр 1,6 мм, изоляция в центральном отверстии может иметь внутренний диаметр приблизительно от 2 до 3 мм, чтобы проволока легко проходила сквозь центральное отверстие. Согласно некоторым вариантам осуществления направляющего устройства, самый конец выходного отверстия для проволоки может иметь электроизолирующую обшивку с внутренним диаметром отличающимся от внутреннего диаметра электроизолирующей обшивки в любых других местах направляющего устройства. К примеру, когда используется проволока с диаметром 1,6 мм, то, хотя изоляция в центральном отверстии может иметь диаметр приблизительно 2-3 мм, самый конец выходного отверстия для проволоки может иметь электроизолирующую обшивку с внутренним диаметром приблизительно 1,8 мм. Внутренний диаметр электроизолирующей обшивки на самом конце может быть выбран так, чтобы он был достаточно большим, чтобы проволока могла проходить сквозь него, но достаточно малым, чтобы он мог задавать проволоке нужное направление.

Диаметр металлической проволоки согласно некоторым вариантам осуществления настоящего изобретения может находиться в интервале приблизительно от 0,8 до 5 мм. Металлическая проволока может иметь любой практически реализуемый размер, например 1,0, 1,6, 2,4 мм и т.п. Скоростью подачи и положением металлической проволоки можно управлять и изменять скорость и положение в соответствии с воздействием источника питания на сварочную горелку, чтобы обеспечить непрерывное нагревание металлической проволоки и ее плавление, когда проволока достигает требуемого положения над базовым материалом, например над ванной расплава базового материала. Сварочная горелка как источник тепла для плавления металлической проволоки может представлять собой горелку РТА, электронный

пучок, или лазер, или их комбинацию.

Когда электроизолирующая обшивка вблизи центрального отверстия, через которое проходит металлическая проволока, содержит изоляционную керамику, поверхность указанной изоляционной керамики может быть обработана для уменьшения шероховатости поверхности керамики, которая изолирует металлическую проволоку. Обработка поверхности может способствовать минимизации или исключению царапин или задигов металлической проволоки, когда последняя проходит сквозь электроизолирующую обшивку. К примеру, поверхность электроизолирующей обшивки может быть обработана до состояния блеска, что уменьшает силы притяжения между поверхностью покрытия и электродом, которые вызывают трение. Для сокращения пор поверхности, трещин или деформаций поверхности может быть использовано лазерное глянецвание, чтобы уменьшить трение и получить более гладкую поверхность изоляционной керамики. Поверхность электроизолирующей обшивки может быть обработана, чтобы получить алмазоподобное углеродное покрытие. Для снижения трения на поверхность электроизолирующей обшивки может быть осажден ПТФЭ. Обработка поверхности может способствовать минимизации образования мелких частиц металлической проволоки, которые могут образовываться в силу взаимодействия металлической проволоки с шероховатой поверхностью изоляционной керамики.

Электроизолирующая обшивка направляющего устройства 120 может иметь любую форму при условии, что его центральное отверстие согласно конструкции может принимать металлическую проволоку 180 и дает возможность металлической проволоке 180 проходить сквозь электроизолирующую обшивку. Поперечное сечение наружной части изоляционного покрытия может иметь форму круга, овала, эллипса, или многоугольника, например квадрата, треугольника, четырехугольника, пятиугольника, шестиугольника или восьмиугольника.

В изображенном варианте осуществления изобретения электрический контактный блок 200 содержит сменный контактный наконечник, который приводят в контакт с металлической проволокой. Сменный контактный наконечник в электрическом контактном блоке 200 содержит медь, или медный сплав, или медный композит, например сочетание меди с вольфрамом. Контактные наконечники серийно выпускаются и присутствуют на рынке, при этом изобретение не ограничивается каким-либо конкретным типом контактного наконечника. К примеру, контактные наконечники, выполненные из композиции вольфрама и меди, выпускаются компанией Brouwer Metaal B.V., (Голландия, Нидерланды) под наименованием Brocadur WK20 и содержат приблизительно 80% W и 20% Cu. Контактный наконечник электрически соединяет металлическую проволоку с источником питания постоянного тока, который также соединен с целевой областью металлического предмета, изготавливаемого методом изготовления твердой произвольной формы. Согласно некоторым вариантам осуществления изобретения электрическое соединение выполняют так, чтобы металлическая проволока была катодом, а целевая область была анодом. Согласно некоторым вариантам электрическое соединение выполняют так, чтобы металлическая проволока была анодом, а целевая область была катодом. Когда металлическая проволока входит в дугу горелки PAW, например горелки PTA, струя плазмы, содержащая электрическую дугу, доставляет тепловой поток с высокой концентрацией энергии к небольшой площадке поверхности целевой области при высокоэффективном контроле площадного распределения и величины теплового потока, который поступает от горелки PTA. Горелка PTA имеет преимущество, ибо создает стабильную и однородную электрическую дугу, которая характеризуется малым блужданием и малой чувствительностью к изменению расстояния между катодом и анодом. Горелка PTA может содержать вольфрамовый электрод и сопло из меди или медного сплава. Однако изобретение не привязано к выбору какого-либо конкретного типа горелки PTA. Может быть использовано любое известное или возможное устройство, способное работать в качестве горелки PTA.

Сменный контактный наконечник может быть закреплен на цилиндрической опоре внутри электрического контактного блока. Согласно некоторым вариантам контактный наконечник термически изолируют от цилиндрической опоры путем использования промежуточного теплоизоляционного материала. Для применения в электрическом контактном блоке пригоден любой теплоизоляционный материал, который способен выдерживать температуры, которые возникают на сменном наконечнике. Примером теплоизоляционного материала является керамика, которую также можно выбрать так, чтобы она обладала электроизоляционными свойствами, что свело бы к минимуму или исключило передачу электрического тока от контактного наконечника к электрическому контактному блоку. Для построения соответствующего фитинга для крепления контактного наконечника к цилиндрической опоре внутри электрического контактного блока мог бы быть использован любой из вышеупомянутых видов керамики.

Контактный наконечник, принадлежащий электрическому контактному блоку, поддерживают в контакте с металлической проволокой для непрерывного прохождения электрического тока по проволоке и замыкания электрической цепи, которая содержит источник питания, металлическую проволоку и целевую область. Согласно некоторым вариантам осуществления изобретения контактный наконечник поддерживают в контакте с металлической проволокой при помощи узла прижатия контактного наконечника. Узел прижатия контактного наконечника может быть частью электрического контактного блока или может представлять собой отдельный элемент. Давление вниз, удерживающее контактный наконечник в контакте с металлической проволокой 180, может быть создано путем использования, например

пружины, гидравлики, механизированных винтов или плунжера с приводом от двигателя. Когда используется пружина, пружина может быть выбрана так, чтобы она создавала усилие соответствующей величины: не слишком большой, чтобы контактный наконечник не царапал металлическую проволоку 180, но достаточно большой, чтобы поддерживать контакт между контактным наконечником и металлической проволокой 180. В зависимости от выбранной схемы для прижатия контактного наконечника вниз к металлической проволоке 180 может быть использована пружина, например пружина сжатия, обладающая жесткостью в интервале приблизительно от 0,001 до 10 Н/м. Вместо пружины или дополнительно к пружине узел прижатия может содержать гидравлический цилиндр, который может быть использован для создания силы, удерживающей контактный наконечник в контакте с металлической проволокой. Узел прижатия контактного наконечника может быть выполнен с возможностью создания усилия прижатия наконечника к проволоке величиной приблизительно от 100 до 800 г.

Согласно некоторым вариантам осуществления изобретения контактный наконечник поддерживают в контакте с металлической проволокой при помощи узла прижатия проволоки. Узел прижатия проволоки может создавать давление, действующее вверх на металлическую проволоку 180, чтобы удерживать последнюю в контакте с контактным наконечником. Давление вверх, удерживающее металлическую проволоку 180 в контакте с контактным наконечником, может быть получено, например, путем использования L-образной скобы, соединенной с пружиной, гидравликой, механизированными винтами или плунжером с приводом от двигателя. Пружина может быть выбрана так, чтобы она создавала усилие соответствующей величины: не слишком большой, чтобы контактный наконечник не царапал металлическую проволоку 180, но достаточно большой, чтобы поддерживать контакт между контактным наконечником и металлической проволокой 180. В зависимости от выбранной схемы для прижатия металлической проволоки 180 вверх к контактному наконечнику может быть использована пружина, например пружина сжатия, обладающая жесткостью в интервале приблизительно от 0,001 до 10 Н/м. Для создания силы, прижимающей проволоку к контактному наконечнику, может быть использовано гидравлическое давление на плунжер. Узел прижатия проволоки может быть выполнен с возможностью создания усилия прижатия проволоки к наконечнику величиной приблизительно от 100 до 800 г. Согласно некоторым вариантам осуществления может быть использовано сочетание узла прижатия контактного наконечника вниз к металлической проволоке и узла прижатия металлической проволоки вверх к контактному наконечнику.

К регулируемой направляющей опорной раме 500 также прикреплен детектор 700, который может определять положение дистального конца металлической проволоки 180 в дуге горелки 600 РТА. Детектор 700 может быть прикреплен к регулируемой направляющей опорной раме 500 посредством держателя 710. Может быть использован любой детектор, который позволяет определять положение дистального конца металлической проволоки 180 относительно источника тепла, например горелки 600 PAW, лазерного луча от лазерной горелки или пучка электронов от электронно-лучевой горелки. Детектор может включать в себя камеру, оптический датчик, датчик изображения, фотодиод, фотодиодную матрицу, датчик на основе комплементарной структуры "металл-оксид-полупроводник" (КМОП), прибор с зарядовой связью (ПЗС), активно-пиксельный датчик, датчик электронов, механизм обнаружения явлений, связанных с электронами, или их комбинацию.

Пример детектора включает в себя одну или более камер, которые позволяют визуализировать положение дистального конца металлической проволоки 180 относительно дуги горелки 600 PAW или, как вариант, лазерного луча от лазерной горелки или пучка электронов от электронно-лучевой горелки. Камера с широким динамическим диапазоном на основе CMOS может быть использована в качестве детектора 700 для получения цветного или черно-белого изображения плазменной дуги, лазерного луча или пучка электронов, а также положения дистального конца металлической проволоки 180. Изображения можно показывать в реальном времени на дисплее, например на мониторе. Дисплей может представлять собой плоскую светодиодную панель, жидкокристаллический экран, дисплей на тонкопленочных транзисторах или дисплей на электроннолучевой трубке. Поле зрения камеры можно настраивать путем регулировки самой камеры и/или путем электронного регулирования поля зрения камеры. Детектор 700 может быть расположен так, чтобы его фокальная плоскость совпадала с дистальным концом металлической проволоки 180, при этом дистальный конец металлической проволоки 180, как правило, находится в центре поля зрения камеры. Что касается формирования изображений, то камера расположена относительно горелки PAW, лазерной горелки или электронно-лучевой горелки и дистального конца металлической проволоки 180 так, что осевая линия дистального конца металлической проволоки 180 расположена в поле зрения камеры. Перед камерой может быть установлен полосовой фильтр, чтобы отсекал шум и/или уменьшать интенсивность света, который создает дуга и принимает камера, чтобы улучшить контраст при визуализации дистального конца металлической проволоки 180. Если камеру, фотоприемник дополнить средствами активной обратной связи, то в целях улучшения контраста можно автоматически регулировать время экспозиции, коэффициент усиления, коэффициент контрастности и тональную компрессию или их комбинацию.

Применяемый фильтр может быть выбран так, чтобы длина волны характерная для теплового источника сварочной горелки либо подавлялась фильтром, либо оставалась единственной доминантной

длиной волны, которая должна проходить через фильтр, что обеспечивает механизм различения теплового источника от нагретой подложки. Датчик видеоизображений может быть запрограммирован на обнаружение требуемой выбранной длины волны. Детектор может быть выполнен так, чтобы он был обращен к сварочной горелке, и контролировал свет, излучаемый в процессе сварки. Изменения в обнаруживаемых длинах волн могут быть использованы для обнаружения того, что металлическая проволока не отцентрирована надлежащим образом внутри теплового источника сварочной горелки. Сигналы, сформированные системой получения изображений, или преобразованные сигналы, сформированные системой управления, затем могут быть использованы для активирования системы изменения положения в целях изменения положения дистального конца проволоки. Изменение положения проволоки также может быть выполнено вручную оператором в ответ на видеоизображение.

Один или более детекторов 700 могут быть связаны с системой управления, которая также связана с двигателем 570. Когда система управления получает сигнал от детектора 700, что требуется изменить положение дистального конца металлической проволоки 180, система управления может сформировать сигнал для двигателя 570 с целью изменения углового положения регулируемой направляющей опорной рамы 500 относительно неподвижной основной опорной рамы 900, и перемещения дистального конца металлической проволоки 180 так, чтобы изменить или сохранить положение дистального конца внутри дуги горелки 600 PAW. Устройство управления обработкой сигналов (такое как компьютер с программой обработки сигналов, рассчитанной для обработки сигналов, получаемых от камеры) может быть использовано для обработки данных от детектора 700 и нахождения точки центра проволоки, например, на основе фиксированных опорных точек на устройствах, прикрепленных к основной опорной раме и находящихся в поле зрения детектора (например, на держателе 650 горелки или на плавильной горелке 600, которые находятся в поле зрения) и на основе динамических характеристик, таких как форма дуги, концентрация дуги, центральная линия наплавленной полосы, отклонение капель и т.п. Найденный коэффициент угловой поправки для коррекции положения направляющей опорной рамы 500 может быть высвечен на мониторе для ручной коррекции, или устройство управления обработкой сигналов может автоматически послать информацию электронным способом через программу или напрямую через сигнальный интерфейс на двигатель 570. Соответственно можно осуществлять непрерывное отслеживание сигналов от детектора 700, и сигналы могут использоваться для выявления необходимости изменения положения дистального конца металлической проволоки. В некоторых случаях применения механизмы управления с обратной связью, реагирующие на сигналы от детектора 700, могут быть использованы для коррекции положения направляющей опорной рамы 500. Согласно примерам осуществления изобретения непрерывно производится изменение положения дистального конца металлической проволоки в ответ на непрерывное отслеживание, при котором производится обнаружение положения проволоки в целях обеспечения того, чтобы дистальный конец металлической проволоки находился и оставался внутри источника тепла, создаваемого сварочной горелкой. Согласно примерам осуществления изобретения источником тепла является либо плазменная дуга, лазерный луч, пучок электронов либо иное излучение от используемой сварочной горелки.

Металлическая проволока 180 может быть из любого металла, используемого в газовой сварке. Металлическая проволока может быть выполнена из титана или может содержать титан. Металлическая проволока может быть выполнена из титанового сплава или может содержать титановый сплав, в котором содержится титан в сочетании с Al, V, Sn, Zr, Mo, Nb, Cr, W, Si и Mn. Примерами титанового сплава могут служить, например, Ti-6Al-4V, Ti-6Al-6V-2Sn, Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo, Ti-45Al-2Nb-2Cr, Ti-47Al-2Nb-2Cr, Ti-47Al-2W-0.5Si, Ti-47Al-2Nb-1Mn-0.5W-0.5Mo-0.2Si и Ti-48Al-2Nb-0.7Cr-0.3Si. Металлическая проволока может содержать алюминий, железо, кобальт, медь, никель, углерод, титан, тантал, вольфрам, ниобий, золото, серебро, палладий, платину, цирконий их сочетания и сплавы. Металлическая проволока может иметь круглое поперечное сечение. Диаметр металлической проволоки может находиться в интервале приблизительно от 0,5 до 5 мм. Металлическая проволока может иметь любой практически реализуемый размер, например 1,0, 1,6 или 2,4 мм. Расплавленный материал металлической проволоки может быть осажден на базовый материал в соответствии с профилем наплавления, который получен при помощи компьютерной модели объекта, подлежащего формовке, так что построение указанного объекта осуществляется путем последовательного наплавления слоев металлического материала на базовый материал.

Позиционирование базового материала и любой одной или нескольких горелок PAW может быть выполнено с использованием одного или нескольких исполнительных механизмов. В приводимых в качестве примера вариантах осуществления базовый материал может быть передислоцирован или перемещен с использованием приводного лотка, на котором располагается базовый материал. Приводной лоток может перемещать базовый материал в любом направлении. В примерных вариантах осуществления приводной лоток может быть установлен на направляющей или рельсовой системе и способен перемещать базовый материал в любом требуемом направлении. Альтернативно приводной лоток может эксплуатироваться с использованием механической или роботизированной руки (манипулятора). Исполнительный механизм может также работать с использованием гидропривода. Аналогичным образом одна или несколько горелок PAW могут быть перемещены с использованием одного или нескольких исполни-

тельных механизмов. Например, каждая из одной или нескольких горелок PAW может быть прикреплена к независимо управляемому приводному рычагу, такому как роботизированная или механическая рука. Также могут быть реализованы другие типы механизмов для приводного рычага, такие как, например, рельсовые или направляющие системы. Исполнительные механизмы также могут работать с использованием гидропривода. В примерных вариантах осуществления, в которых используются две или более горелки PAW, каждая горелка PAW может перемещаться независимо. В альтернативном варианте осуществления с использованием двух или более горелок PAW положение двух или более горелок PAW может быть фиксированным относительно друг друга, и один или более приводных рычагов может перемещать две или более горелки PAW одновременно. В приводимых в качестве примера вариантах осуществления приводной лоток является единственным задействованным исполнительным механизмом, удерживающим одну или несколько горелок PAW в неподвижном положении во время осаждения. В альтернативных вариантах осуществления приводной лоток перемещает базовый материал только в двух направлениях в одной плоскости, в то время как один или несколько приводных рычагов перемещают одну или несколько PAW-горелок только в одном направлении, например перпендикулярно плоскости, в которой перемещается приводной лоток. Противоположное также может быть справедливым, когда один или несколько приводных рычагов перемещают одну или несколько PAW-горелок в двух направлениях в плоскости, в то время как приводной лоток перемещает базовый материал вдоль одного направления. В альтернативных вариантах осуществления базовый материал удерживается в неподвижном положении во время осаждения, и один или несколько приводных рычагов используются для перемещения одной или нескольких горелок PAW. В еще одном альтернативном варианте осуществления изобретения приводной лоток и один или несколько приводных рычагов используются для перемещения базового материала и одной или нескольких горелок PAW. Система автоматизированного (компьютеризированного) производства (CAM, от англ. computer-aided manufacturing) или программа может управлять перемещением платформы, первой руки-манипулятора, второй руки-манипулятора или любой комбинации данных механизмов в соответствии с профилем наплавления металла.

Хотя в предыдущем описании новое техническое решение раскрыто весьма подробно, его следует истолковывать не как ограничивающее объем изобретения, а как иллюстрацию различных вариантов осуществления изобретения.

Для специалистов в данной области техники очевидно, что в настоящем изобретении могут быть сделаны различные модификации и изменения, не выходящие за пределы объема изобретения. Таким образом, подразумевается, что настоящее изобретение охватывает модификации и изменения данного изобретения при условии, что они входят в объем прилагаемой формулы изобретения и ее эквивалентов.

Перечень ссылочных обозначений

Нижеследующее представляет собой перечень ссылочных обозначений, используемых в описании и сопроводительных чертежах:

- 120 - направляющее устройство;
- 180 - металлическая проволока;
- 200 - электрический контактный блок;
- 210 - узел контактного наконечника;
- 230 - электрический соединитель;
- 300 - опорный элемент;
- 400 - устройство защиты проволоки;
- 450 - соединитель;
- 460 - моторизованные ролики;
- 465 - счетчик оборотов;
- 470 - двигатель;
- 475 - моторизованные ролики;
- 480 - счетчик оборотов;
- 485 - направляющие ролики;
- 490 - направляющие ролики;
- 495 - рамный соединитель механизма подачи проволоки;
- 500 - регулируемая направляющая опорная рама;
- 550 - вырез;
- 570 - двигатель;
- 600 - первая горелка PTA;
- 610 - вторая горелка PTA;
- 650 - держатель горелки;
- 700 - детектор (камера);
- 710 - держатель детектора;
- 800 - шарнир;
- 810 - поворотный опорный плунжер;
- 820 - опора;

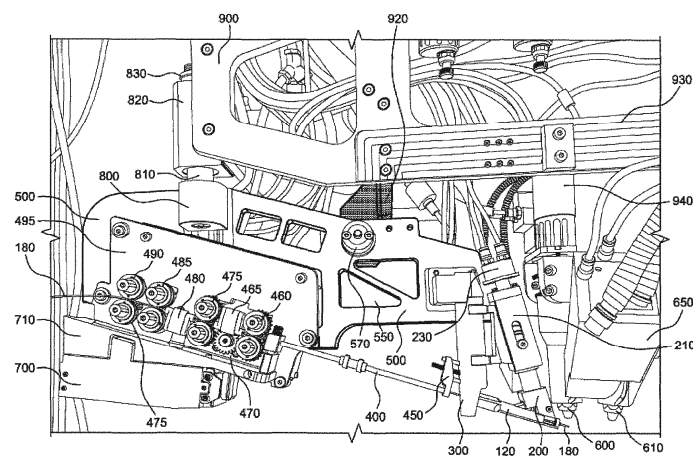
- 830 - соединитель;
- 900 - основная опорная рама;
- 920 - панель (находящаяся в зацеплении с резьбовым элементом, приводимым во вращение двигателем);
- 930 - опора;
- 940 - опора.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ подачи металлической проволоки к сварочной горелке, содержащий шаги:
 продвигают вперед некоторое количество металлической проволоки от источника подачи проволоки через направляющее устройство так, чтобы расположить дистальный конец металлической проволоки в источнике тепла, создаваемого сварочной горелкой,
 определяют положение дистального конца металлической проволоки относительно источника тепла, создаваемого сварочной горелкой,
 регулируют положение дистального конца металлической проволоки относительно источника тепла путем изменения положения регулируемой рамы, к которой прикреплено указанное направляющее устройство, причем регулируемая рама присоединена с возможностью вращения к неподвижной раме, при этом указанное изменение положения включает в себя перемещение регулируемой рамы в сторону неподвижной рамы или от неподвижной рамы.
2. Способ по п.1, в котором регулируемая рама присоединена с возможностью вращения к неподвижной раме посредством узла крепления, который включает в себя опору, содержащую поворотный опорный плунжер, введенный в зацепление с шарниром, и соединитель, соединенный с поворотным опорным плунжером и шарнирно поддерживающий указанный поворотный опорный плунжер, причем указанная опора неподвижно прикреплена к неподвижной раме.
3. Способ по п.2, в котором изменение положения регулируемой рамы выполняют посредством активирования репозиционирующего двигателя, прикрепленного к резьбовому элементу, который введен в зацепление с отверстием с внутренней резьбой в панели, прикрепленной к неподвижной раме, причем посредством вращения резьбового элемента с помощью репозиционирующего двигателя в одном направлении перемещают регулируемую раму в сторону неподвижной рамы, а посредством вращения резьбового элемента с помощью репозиционирующего двигателя в противоположном направлении перемещают регулируемую раму от неподвижной рамы.
4. Способ по п.3, в котором репозиционирующий двигатель представляет собой шаговый электродвигатель, при этом числом импульсов питания, подаваемых на электродвигатель, управляют, чтобы обеспечить точную величину вращательного перемещения резьбового элемента в любом направлении.
5. Способ по п.3, в котором репозиционирующим двигателем управляют с использованием контроллера, который изменяет подаваемое на двигатель питание или регулирует скорость, направление и продолжительность движения двигателя, или позволяет выполнять автоматическое активирование двигателя в ответ на некоторый сигнал, или выполняет любую комбинацию указанных операций.
6. Способ по любому из пп.1-5, в котором металлическую проволоку продвигают вперед с использованием основного подающего устройства, которое содержит первый моторизованный механизм подачи проволоки, двигатель транспортировки проволоки, счетчик оборотов и второй моторизованный механизм подачи проволоки, при этом посредством двигателя транспортировки проволоки приводят во вращение первый и второй моторизованные механизмы подачи проволоки, чтобы продвигать металлическую проволоку вперед к источнику тепла, создаваемого сварочной горелкой.
7. Способ по любому из пп.1-6, в котором двигатель транспортировки проволоки представляет собой электродвигатель постоянного тока, приводимый в действие управляющим сигналом электропитания, или шаговый электродвигатель.
8. Способ по п.7, в котором двигателем транспортировки проволоки управляют с использованием контроллера, который изменяет подаваемое на двигатель питание или регулирует скорость, направление и продолжительность движения двигателя, или позволяет выполнять автоматическое активирование двигателя в ответ на некоторый сигнал, или выполняет любую комбинацию указанных операций.
9. Способ по любому из пп.1-8, в котором определение положения дистального конца металлической проволоки содержит визуализацию дистального конца металлической проволоки при помощи камеры.
10. Способ по п.9, в котором указанная камера представляет собой камеру на основе комплементарной структуры металл-оксид-полупроводник (КМОП-камеру).
11. Способ по п.10, в котором посредством КМОП-камеры генерируют изображение, которое может быть преобразовано в цифровое представление обнаруженной световой картины, и в ответ на указанное цифровое представление производят изменение положения дистального конца металлической проволоки.
12. Способ по любому из пп.1-11, в котором сварочная горелка представляет собой горелку плазменно-дуговой сварки, горелку дуговой сварки вольфрамовым электродом в газовой среде, горелку сварки металлическим электродом в газовой среде, горелку сварки металлическим электродом в среде инерт-

ного газа, горелку сварки вольфрамовым электродом в среде инертного газа, лазерную сварочную горелку, электронно-лучевую сварочную горелку или любую их комбинацию.

13. Способ по п.1, в котором определение положения дистального конца металлической проволоки осуществляют непрерывно.



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2