

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(21) **201990014** (13) **A1**

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

(43) Дата публикации заявки  
2019.07.31

(22) Дата подачи заявки  
2017.03.17

(51) Int. Cl. **B23K 9/04** (2006.01)  
**B23K 9/28** (2006.01)  
**B23K 10/02** (2006.01)  
**B23K 103/14** (2006.01)

(54) **УЗЕЛ ТОКОПОДВОДЯЩЕГО НАКОНЕЧНИКА С ЖИДКОСТНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ  
ДЛЯ НАПЛАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛА**

(31) 15/206,158

(32) 2016.07.08

(33) US

(86) PCT/EP2017/056392

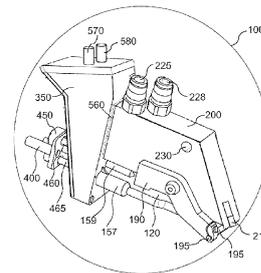
(87) WO 2018/007032 2018.01.11

(71) Заявитель:  
**НОРСК ТИТАНИУМ АС (NO)**

(72) Изобретатель:  
**Фалла Том-Эрик, Рамсланн Арне  
(NO)**

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

(57) Предложен узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением, который может быть использован в способах и системах для изготовления объектов с помощью технологии послойного формирования, особенно объектов из титана и титановых сплавов, и в котором скорость наплавления увеличена за счет увеличения силы электрического тока, пропускаемого через металлическую проволоку.



**201990014**

**A1**

**A1**

**201990014**

## УЗЕЛ ТОКОПОДВОДЯЩЕГО НАКОНЕЧНИКА С ЖИДКОСТНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ ДЛЯ НАПЛАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛА

### Область техники, к которой относится изобретение

5 Настоящее изобретение относится к способу и устройству для изготовления предметов посредством технологии послойного формования (англ. Solid Freeform Fabrication), особенно предметов из титана и титановых сплавов.

### 10 Сведения о предшествующем уровне техники

Конструкционные металлические детали из титана или титановых сплавов традиционно изготавливают посредством литья, штамповки или станочной обработки из заготовки. Эти разновидности технологии обладают недостатком, заключающимся в больших потерях дорогого материала – титана, и в большом  
15 времени освоения новых изделий.

Физические объекты максимальной плотности можно изготавливать по технологии, которая известна, как технология быстрого изготовления опытных образцов (быстрого прототипирования), технология послойного изготовления, технология изготовления твердых тел послойным формированием, аддитивная  
20 технология или технология объемной печати (3D-печать). В данной технологии используется программное обеспечение системы автоматизированного проектирования (англ. CAD, Computer Aided Design Software), чтобы вначале построить виртуальную модель объекта, который должен быть изготовлен, а затем преобразовать виртуальную модель в комплекс тонких слоев, которые  
25 обычно расположены горизонтально. Затем физический объект может быть изготовлен путем последовательной укладки слоев исходного материала в форме текучей пасты, порошка или иной жидкой форме, которую можно укладывать слоями и распределять, как например, расплавленный металл, к  
30 примеру от расплавленной электродной проволоки, или предварительно подготовленных слоев листового материала, которые имеют сходство с формой виртуальных слоев, пока не будет сформирован весь объект. Указанные слои сплавляют вместе, чтобы сформировать сплошной твердый объект.

Технология изготовления твердых тел послойным формированием представляет собой гибкую технологию, которая позволяет создавать объекты

почти любой формы при сравнительно высоких скоростях изготовления, которые обычно варьируют от нескольких часов до нескольких дней на каждый объект. Таким образом, данная технология подходит для изготовления прототипов и малых производственных партий, и может быть расширена в масштабе до  
5 массового производства.

Технология послойного изготовления может быть расширена, чтобы включить метод наслаивания элементов конструкционного материала, то есть каждый структурный слой виртуальной модели объекта подразделяют на множество элементов, которые при укладке рядом друг с другом образуют слой.

10 Это позволяет формировать металлические объекты путем наваривания проволоки на подложку в виде последовательных полос, образующих каждый слой в соответствии с виртуальной послойной моделью объекта, и повторять процесс для каждого слоя, пока не будет сформирован весь физический объект. В отношении точности технология наваривания обычно слишком груба, чтобы  
15 позволить непосредственно формировать объект с приемлемыми размерами. Таким образом, сформированный объект обычно будет рассматриваться в качестве «сырого» объекта или преформы, которая требует станочной обработки до приемлемой точности размеров.

Из уровня техники известен электронно-лучевой процесс создания  
20 предметов произвольной формы (например, см. работы Taminger и Hafley: “*Characterization of 2219 Aluminum Produced by Electron Beam Freeform Fabrication*” «Характеристики алюминиевого сплава 2219, получаемого в ходе электронно-лучевого процесса изготовления твердых тел послойным формированием» (13-й Симпозиум по изготовлению твердых тел послойным формированием, август 5-7,  
25 2002, Austin, Texas; Proceedings of University of Texas at Austin (2002); “*Electron Beam Freeform Fabrication: A Rapid Metal Deposition Process*” «Электронно-лучевой процесс изготовления твердых тел послойным формированием: процесс быстрого наплавления металла» (3-я Ежегодная конференция по композитам в автомобильной промышленности, сентябрь 9-10, 2003, Troy, MI, Society of Plastics  
30 Engineers (2003); “*Electron Beam Freeform Fabrication for Cost Effective Near-Net Shape Manufacturing*” «Электронно-лучевой процесс изготовления твердых тел послойным формированием для экономически-эффективного изготовления профилей близких к заданным» (Совещание специалистов NATO/RTOAVT-139 по эффективному изготовлению профилей близких к заданным, Amsterdam, the

Neitherlands, 2006 NATO, pp 2-25). У тех же авторов (Taming, Hafley) описан способ и устройство для изготовления конструкционных металлических деталей непосредственно путем сочетания CAD с электронно-лучевым процессом изготовления предметов произвольной формы (англ. Electron Beam Freeform Fabrication, EBF). Построение конструкционной детали осуществляется путем последовательного наплавления слоев металлической электродной проволоки, которую расплавляют тепловой энергией, создаваемой электронным лучом. Электронно-лучевой процесс EBF включает в себя расплавление металлической проволоки с образованием лунки расплавленного металла, которая создается и поддерживается за счет сфокусированного пучка электронов в условиях высокого вакуума. Позиционирование электронного пучка и электродной проволоки осуществляют, организуя в системе электронную пушку и привод, поддерживающий подложку, которую шарнирно закрепляют с возможностью перемещения вдоль одной или более осей (X, Y, Z и вращения), и регулируя положение электронной пушки и несущей подложки посредством системы управления движением по четырем осям. Утверждают, что данный процесс имеет почти 100% эффективность в отношении использования материала и 95% эффективность в отношении расхода энергии. Способ может быть применим как для наплавления большого объема металла, так и для более тонкого детального наплавления, при этом утверждают, что данный способ позволяет существенно сократить период подготовки проекта к изготовлению и уменьшить затраты на материалы и станочную обработку по сравнению с традиционной методикой изготовления металлических деталей на станках. Электронно-лучевая технология обладает недостатком, поскольку зависит от вакуума в камере наплавления порядка  $10^{-1}$  Па или менее.

Известно (см., например, патентную публикацию США 2010/0193480) использование горелки для сварки вольфрамовым электродом в среде инертного газа (англ. Tungsten Inert Gas, TIG) для изготовления объектов произвольной формы, при котором производится последовательное наплавление на подложку слоев исходного малопластичного металлического материала. Плазменная дуга создается путем возбуждения потока газа с использованием электрода, причем ток, подаваемый на электрод, можно изменять по величине. Плазменную струю направляют в намеченную область для предварительного прогрева намеченной области заготовки перед осуществлением наплавления. Электрический ток

регулируют, и исходный материал подают в плазменную струю, чтобы высадить расплавленный исходный материал в намеченной области. Ток регулируют, и 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.

В патентной публикации США 2006/185473 также раскрыто использование горелки TIG вместо дорогостоящего лазера, который традиционно используется в процессе изготовления объектов произвольной формы, со сравнительно недорогим исходным титановым материалом путем сочетания подачи титана и легирующих компонентов таким образом, что обеспечивается значительное сокращение затрат на исходные материалы. В указанной публикации также раскрыто использование губчатого титанового материала, смешанного с легирующими элементами, и выполненного в виде проволоки, который может быть использован в процессе изготовления объектов произвольной формы в сочетании с горелкой плазменной сварки или иным высокоэнергетическим лучом для изготовления компонентов из титана с формой близкой к заданной.

В международной заявке WO 2006/133034, раскрыта технология непосредственного наплавления металла с использованием гибридного лазерного/дугового процесса для изготовления сложных трехмерных форм, содержащая этапы подготовки подложки и нанесения на нее первого слоя расплавленного металла из исходного металла с использованием лазерного излучения и электрической дуги. Электрическая дуга может быть обеспечена посредством газовой дуговой сварки с использованием исходного металла в качестве электрода. Согласно заявке, использование лазерного излучения в сочетании с газовой дуговой сваркой металлическим электродом стабилизирует дугу и предположительно обеспечивает более высокую скорость процесса. Согласно заявке, электродная проволока выходит из направляющей, которая задает электроду направление движения. Металл электродной проволоки плавится на ее конце, и расплавленный металл откладывается путем позиционирования конца проволоки на точке наплавления. Тепло необходимое для плавления электродной проволоки обеспечивается электрической дугой, которая развивается между концом электрода и заготовкой/подложкой для наплавления, а также лазером, который облучает область наплавления. Процесс

наваривания (наплавления) за счет плавления электродной проволоки, нагреваемой электрической дугой, известен как газовая дуговая сварка металлическим электродом (англ. Gas Metal Arc Welding, GMAW), которую в случае использования для образования дуги в инертном газе также называют сваркой металлическим электродом в инертном газе (англ. Metal Inert Gas, MIG).

Проблема, которую необходимо решить, это скорость нанесения материала на материал основы, чтобы сформировать изделие. Можно было бы увеличить температуру электродной проволоки, чтобы осуществить ее предварительный нагрев, прежде чем проволока начнет взаимодействовать с дугой горелки. Этого можно было бы добиться путем увеличения количества электричества, проходящего через электрод в единицу времени (т.е. силы тока), или путем изменения поперечного сечения электродной проволоки, чтобы увеличить резистивное нагревание электрода. Металл титан или титановые сплавы, нагретые выше 400°C, могут подвергаться окислению при контакте с кислородом. Таким образом, необходимо защищать сварочный шов и нагретый объект, который формируется путем послойного формирования, от кислорода окружающей атмосферы.

Однако, использование тока большой величины может создавать ряд проблем. Если изменение тока не контролировать, то может происходить быстрый перегрев электродной проволоки, что может приводить к переходу дуги с проволоки на токоподводящий наконечник. Такой переход может приводить к сплавлению электродной проволоки с токоподводящим наконечником, что потребовало бы замены токоподводящего наконечника. Использование тока большой величины также может вызывать разогрев самого токоподводящего наконечника, и может приводить к перегреву последнего. Одним из последствий перегрева токоподводящего наконечника может быть удлинение последнего. В зависимости от конфигурации токоподводящего наконечника такое удлинение может приводить к тому, что токоподводящий наконечник переместится ближе к электродной проволоке, что может увеличивать трение между токоподводящим наконечником и электродной проволокой, повреждать или царапать электродную проволоку. Изменение геометрии токоподводящего наконечника, вызванное перегревом, также может приводить к неравномерному износу токоподводящего наконечника в силу удлинения или неравномерности, вызванной нагреванием. Это может приводить к образованию электрической дуги внутри токоподводящего

наконечника. Перегрев токоподводящего наконечника также может приводить к образованию микропор в токоподводящем наконечнике, что может вызывать погрешности в работе сварочного аппарата.

5        Указанные проблемы, причиной которых является использование в токоподводящем наконечнике токов большой величины, могут приводить к необходимости частой замены токоподводящих наконечников, а в худшем случае к необходимости чистки сварочной аппаратуры. Замена токоподводящего наконечника и/или чистка аппаратуры требует остановки аппарата и остановки производства. Это требует больших затрат и отрицательно влияет на  
10        производительность.

      В данной области техники также есть потребность в рентабельном способе осуществления непосредственного наплавления металла при увеличенной скорости наплавления. В данной области техники также существует потребность в аппарате, который позволяет увеличить производительность и  
15        производственный выход изделий, получаемых непосредственным наплавлением металла, без риска частых замен токоподводящего наконечника, вызываемых перегревом.

#### Сущность изобретения

20        Задача настоящего изобретения состоит в создании аппарата, который дает возможность увеличить производительность и производственный выход изделий, получаемых непосредственным наплавлением металла, без риска частых замен токоподводящего наконечника, вызываемых перегревом. Другая задача изобретения заключается в создании аппарата, который предназначен  
25        для получения изделий, изготовленных непосредственным наплавлением металла, и в котором можно использовать токи большой величины. Предлагаемый аппарат может работать с большими значениями электрического тока. К примеру, аппарат может работать с электрическими токами величиной 100 А, 200 А, 300 А, 350 А, 400 А или более. Предлагаемый аппарат также  
30        смягчает проблемы, связанные с тепловым расширением металлической проволоки и направляющей.

      Другая задача изобретения заключается в создании способа для быстрого послойного изготовления предметов из титана и титановых сплавов.

Настоящее изобретение решает вопрос, связанный с потребностью в усовершенствованном, рентабельном способе выполнения непосредственного наплавления металла. Изобретение также решает вопрос, связанный с потребностью в способе увеличения производительности и производственного выхода деталей, сформированных путем непосредственного наплавления металла с гладкими, четко определенными границами нанесения металла.

Другая задача и преимущество настоящего изобретения заключаются в том, что усовершенствование токоподводящего наконечника снижает остроту проблем, связанных с подачей металлической проволоки, и приводит к снижению трудозатрат и увеличению производительности. Следует отметить, что, хотя изобретение рассмотрено в аспекте использования металлической проволоки, может быть использована любая проводящая структура, которой можно задавать направление и которую можно расплавлять, чтобы наносить материал, например, может быть использован любой расходуемый электрод надлежащего размера и формы.

Аппарат, предложенный в изобретении, увеличивает скорость нанесения материала за счет подачи металлической проволоки в форме проволоки, использования сравнительно высоких значений электрического тока в металлической проволоке, и за счет охлаждения токоподводящего наконечника при помощи системы жидкостного охлаждения. Система жидкостного охлаждения содержит каналы охлаждения, встроенные в электрический контактный элемент или в направляющую, или в оба данных компонента. Каналы охлаждения могут быть расположены близко к той области, где протекает электрический ток. Согласно некоторым вариантам осуществления изобретения, каналы охлаждения расположены в достаточной близости к токоподводящему наконечнику, чтобы обеспечить быструю передачу тепловой энергии к каналам охлаждения.

В настоящем изобретении предложен узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением. Пример осуществления изобретения показан на фиг. 1. Узел 100 токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением может содержать направляющую 120 и электрический контактный элемент 200, который содержит токоподводящий наконечник 215, соединенный с источником электропитания посредством электрического соединителя 230. Согласно некоторым вариантам осуществления, узел 100 токоподводящего наконечника может содержать электрический контактный элемент 200 с жидкостным

охлаждением или направляющую 120 с жидкостным охлаждением, или оба указанных компонента: контактный элемент 200 с жидкостным охлаждением и направляющую 120 с жидкостным охлаждением.

Узел 100 токоподводящего наконечника может также содержать механизм 5 190 поджатия проволоки для поджатия металлической проволоки и приведения ее в контакт с токоподводящим наконечником 215. Механизм 190 поджатия проволоки может содержать изолированную головку 195, которая может быть приведена в контакт с металлической проволокой 180 за счет действия механизма 190, при этом изолированная головка 195 поджимает металлическую 10 проволоку и приводит ее в контакт с токоподводящим наконечником 215. Механизм 190 поджатия проволоки может быть выполнен из титана или титанового сплава, или может содержать титан или титановый сплав. Механизм 190 поджатия проволоки может быть соединен с электрическим контактным элементом 200, например, путем использования оси, которая позволяет 15 механизму поджатия проволоки свободно двигаться вокруг нее, так что механизм 190 поджатия проволоки может поджимать металлическую проволоку к токоподводящему наконечнику 215. Соединительная ось может быть изготовлена из или покрыта теплоизоляционным материалом, так чтобы механизм 190 поджатия проволоки был термически изолирован от электрического контактного 20 элемента 200. В системах, устройствах и способах, соответствующих настоящему изобретению, расходуемый токоподводящий наконечник 215 выполнен отдельно и отстоит от направляющей, при этом металлическая проволока вступает в контакт с токоподводящим наконечником после того, как металлическая проволока пройдет сквозь концевой участок направляющей.

25 Механизм 190 поджатия проволоки создает усилие, чтобы поджимать металлическую проволоку 180 и приводить ее в контакт с токоподводящим наконечником 215. Усилие в механизме 190 поджатия проволоки может быть создано за счет пружины, гидравлических, пневматических приводов, механизированных винтов или поршневого узла с двигателем, или любого 30 сочетания упомянутых компонентов. Согласно некоторым вариантам осуществления изобретения, пружина создает давление, которое вынуждает механизм 190 поджатия проволоки прижимать металлическую проволоку 180 и приводить ее в контакт с наконечником 215. Пружина может представлять собой пружину сжатия, пружину растяжения или пружину кручения. Механизм 190

поджатия проволоки может содержать множество пружин, каждая из которых может являться пружиной растяжения, пружиной сжатия или пружиной кручения.

Узел 100 токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением может содержать несущий элемент 350, к которому, как к опоре могут быть  
5 прикреплены направляющая 120 и электрический контактный элемент 200. Когда узел 100 токоподводящего наконечника содержит направляющую 120 с жидкостным охлаждением, несущий элемент 350 может быть выполнен так, чтобы патрубок 570 подачи теплоносителя, выполненный с возможностью соединения для сообщения по текучей среде с впускным участком 157 для  
10 теплоносителя направляющей, а также патрубок 580 отвода теплоносителя, выполненный с возможностью соединения для сообщения по текучей среде с выпускным участком 159 для теплоносителя направляющей. Несущий элемент 350 может быть термически изолирован от всех компонентов, которые крепятся к несущему элементу 350, путем постановки теплоизоляционного материала 560  
15 между несущим элементом и прикрепляемым компонентом, например, электрическим контактным элементом 200. Теплоизоляционный материал 560 обладает низкой теплопроводностью. Примерами материалов, которые могут служить в качестве теплоизоляционного материала, являются керамика и пластмасса.

Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением может  
20 содержать соединитель 450, прикрепленный к несущему элементу 350 посредством крепежного элемента 465. При помощи соединителя 450 к несущему элементу 350 может быть прикреплен источник 400 подачи металлической проволоки, при этом соединитель 450 может содержать отверстие 460 для  
25 размещения металлической проволоки. Металлическую проволоку подают к одному концу направляющей 120; проволока проходит сквозь направляющую 120 и выходит с другого конца направляющей 120, где она оказывается в плазменной дуге над точкой наплавления металла на изделие. Токоподводящий наконечник 215 может быть расположен так, чтобы он приходил в контакт с металлической  
30 проволокой в определенном месте относительно направляющей 120. Токоподводящий наконечник 215 может быть расположен так, чтобы он приходил в контакт с металлической проволокой после того, как последняя выйдет из конца направляющей 120. Токоподводящий наконечник 215 приводится в контакт с металлической проволокой в заданной точке контакта, которая не перемещается

в направлении подачи проволоки, что приводит к тому, что резистивному нагреву подвергается отрезок металлической проволоки постоянной длины.

Как показано на фиг. 2, электрический контактный элемент 200 может содержать систему охлаждения, которая содержит выпуск 225 для теплоносителя, входной канал 226 теплоносителя, соединенный и выполненный с возможностью сообщения по текучей среде с выпуском 225 для теплоносителя, выходной канал 227 теплоносителя, соединенный и выполненный с возможностью сообщения по текучей среде с входным каналом 226 теплоносителя, и выпуск 228 для теплоносителя, соединенный и выполненный с возможностью сообщения по текучей среде с выходным каналом 227 теплоносителя. Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением также содержит механизм 190 поджатия проволоки, расположенный ниже электрического контактного элемента 200, и выполненный с возможностью поджатия металлической проволоки 180 и приведения ее в контакт с токоподводящим наконечником 215 электрического контактного элемента 200.

Пример направляющей 120 узла токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением изображен на фиг. 3. Направляющая 120 содержит продольную центральную ось A-A', первый конец 140 и противоположный второй конец 150, а также центральное отверстие 130, проходящее вдоль продольной центральной оси направляющей 120 от первого конца 140 ко второму концу 150, через которое можно подавать металлическую проволоку 180. Направляющая 120 может содержать электроизоляционное покрытие 160, которое находится внутри центрального отверстия 130, и проходит сквозь направляющую по меньшей мере от ее первого конца 140 до второго конца 150. В изображенном варианте осуществления изобретения электроизоляционное покрытие 160 заходит за второй конец 150. Электроизоляционное покрытие 160 содержит направляющий канал 170, у которого имеется входное отверстие 145 у первого конца 140 и выходное отверстие 155 у второго конца 150; при этом направляющий канал проходит сквозь прямолинейное электроизоляционное покрытие 160 вдоль продольной центральной оси A-A', и задает направление металлической проволоке 180, которую пропускают через прямолинейный цилиндрический направляющий канал 170 от входного отверстия 145 к выходному отверстию 155, и далее выпускают из выходного отверстия 155. Входной канал 226 теплоносителя электрического контактного элемента 200

может быть выполнен так, чтобы вблизи токоподводящего наконечника 215 он образовывал множество соединенных друг с другом параллельных каналов. Эти каналы могут проходить параллельно токоподводящему наконечнику 215, как показано на фиг. 2, или могут быть расположены перпендикулярно токоподводящему наконечнику 215, или могут иметь любую ориентацию относительно плоскости токоподводящего наконечника 215. Соединенные друг с другом каналы образуют непрерывный тракт для охлаждающей жидкости через электрический контактный элемент 200, причем указанный тракт соединяет впуск 225 для теплоносителя с выпуском 228 для теплоносителя. Электрический контактный элемент 200 узла 100 токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением может быть выполнен так, чтобы он располагался над направляющей 120.

Согласно некоторым вариантам осуществления изобретения, узел 100 токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением содержит направляющую 120, которая оснащена системой охлаждения. Примеры вариантов осуществления изображены на фиг. 4А-4С. Система охлаждения может включать в себя впускной участок 157 для теплоносителя, выполненный с возможностью соединения для сообщения по текучей среде с входным каналом 135 теплоносителя, выходной канал 137 теплоносителя, соединенный и выполненный с возможностью сообщения по текучей среде с входным каналом 135 теплоносителя, и выпускной участок 159 для теплоносителя, соединенный и выполненный с возможностью сообщения по текучей среде с выходным каналом 137 теплоносителя. Впускной участок 157 для теплоносителя может быть соединен и может сообщаться по текучей среде с патрубком 570 подачи теплоносителя, а выпускной участок 159 для теплоносителя может быть соединен и может сообщаться по текучей среде с патрубком 580 отвода теплоносителя (см. фиг. 1).

В узле токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением, соответствующем настоящему изобретению, направляющая 120 может содержать нижнее отверстие 125 в ее нижней части, как показано на фиг. 4А-4С. Нижнее отверстие дает возможность пыли и частицам материала металлической проволоки выходить из направляющей 120, прежде чем они попадут в область близкую к формируемому изделию. Направляющая может быть выполнена из титана или титанового сплава или может содержать титан или титановый сплав,

или же может быть выполнена из меди или медного сплава или содержать медь или медный сплав. Электрический контактный элемент 200 и токоподводящий наконечник 215 каждый независимо может быть выполнен из меди или медного сплава или может содержать медь или медный сплав, или же может быть выполнен из композита, в частности из сплава или композита медь/вольфрам.

Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением, соответствующий настоящему изобретению, выполнен так, что после прохождения через направляющую 120 металлическая проволока 180 оказывается в плазменной дуге горелки плазменно-дуговой сварки ПДС (англ. Plasms Arc Welding, PAW) или в дуге плазмотрона (англ. Plasma Transferred Arc, PTA) над точкой нанесения материала на формируемое изделие.

В изобретении также предложены способы изготовления трехмерного изделия из металлического материала посредством технологии послойного формирования, в которых объект формируют путем взаимного сплавления последовательных слоев металлического материала, нанесенных на материал основы, отличающиеся тем, что в них используют узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением. В указанных способах материал основы, который является таким же материалом, из которого состоит изготавливаемый объект, покрывают последовательными слоями металлического материала, при этом каждый очередной слой получают, используя первую горелку ПДС.

Согласно предпочтительным вариантам осуществления изобретения, узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением используют вместе с системой, в которой используются две горелки ПДС. Вторая горелка ПДС может быть использована для предварительного нагревания материала основы, так, чтобы материал основы стал более восприимчивым к каплям металла от расплавленной металлической проволоки в том месте, на которое должен быть наложен расплавленный металлический материал. Согласно некоторым вариантам, за счет предварительного нагрева горелкой ПДС плавлению подвергается по меньшей мере участок материала основы, чтобы сделать материал основы более восприимчивым. Согласно некоторым вариантам, горелка ПДС, обеспечивающая предварительный нагрев, подает достаточное количество тепла, чтобы в материале основы образовалась лунка расплава в том месте, куда должен быть нанесен металлический материал.

Подачу металлической проволоки через узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением можно осуществлять так, чтобы дальний конец проволоки после выхода из узла токоподводящего наконечника оказывался над материалом основы, куда требуется наносить металлический материал. В

5 конструкциях, в которых материал основы подвергается предварительному нагреванию, дальний конец металлической проволоки после выхода из узла токоподводящего наконечника может быть расположен над областью предварительного нагрева материала основы, или даже над лункой расплава в материале основы, если таковая создается. Горелку ПДС часто используют для

10 нагревания и расплавления металлической проволоки, так чтобы расплавленный материал металлической проволоки каплями падал на материал основы, или на предварительно нагретую или частично расплавленную область материала основы, если выполнялось предварительное нагревание. Материал основы и/или одну или более горелок ПДС можно перемещать по определенной схеме, так

15 чтобы слои расплавленного материала металлической проволоки последовательно накладывались на материал основы, затвердевали и образовывали трехмерное изделие.

В изобретении также предложены способы изготовления трехмерного изделия из металлического материала посредством технологии послойного

20 формирования, которые содержат операции последовательного нанесения слоев металлического материала на материал основы. Каждый очередной слой получают, подавая металлическую проволоку через направляющую в электрический контактный элемент с жидкостным охлаждением, который передает в металлическую проволоку электрический ток силой по меньшей мере

25 100 А, и используя первую горелку ПДС для нагревания и плавления проволоки, так что расплавленный металлический материал каплями падает на материал основы. Схему нанесения слоев задают, перемещая по меньшей мере один из компонентов: материал основы и первую горелку ПДС, так чтобы последовательные слои расплавленного материала от металлической проволоки

30 затвердевали и образовывали трехмерный объект. Материал основы можно предварительно нагревать в том месте, на которое должен быть нанесен металлический материал. Предварительный нагрев выполняют посредством второй горелки ПДС. Схема нанесения слоев также может быть задана путем перемещения по меньшей мере одного из следующих компонентов: материала,

основы, первой горелки ПДС, и второй горелки ПДС, так чтобы последовательные слои расплавленного материала от металлической проволоки затвердевали и образовывали трехмерный объект. В предлагаемых способах электрический контактный элемент содержит систему охлаждения, которая может  
5 содержать впуск для теплоносителя, выполненный с возможностью соединения для сообщения по текучей среде с патрубком подачи теплоносителя; входной канал для теплоносителя, соединенный и выполненный с возможностью сообщения по текучей среде с впуском для теплоносителя; выходной канал теплоносителя, соединенный и выполненный с возможностью сообщения по  
10 текучей среде с входным каналом теплоносителя; и выпуск для теплоносителя, соединенный и выполненный с возможностью сообщения по текучей среде с выходным каналом теплоносителя.

В способах, соответствующих настоящему изобретению, направляющая может содержать систему охлаждения, содержащую впускной участок для  
15 теплоносителя, выполненный с возможностью соединения для сообщения по текучей среде с патрубком подачи теплоносителя; входной канал теплоносителя, соединенный и выполненный с возможностью сообщения по текучей среде с впускным участком для теплоносителя; выходной канал теплоносителя, соединенный и выполненный с возможностью сообщения по текучей среде с  
20 входным каналом теплоносителя; и выпускной участок для теплоносителя, соединенный и выполненный с возможностью сообщения по текучей среде с выходным каналом теплоносителя. Металлическая проволока может быть изготовлена из или может содержать Al, Cr, Cu, Fe, Hf, Sn, Mn, Mo, Ni, Nb, Si, Ta, Ti, V, W или Zr, или композиты или сплавы указанных веществ. Согласно  
25 некоторым вариантам осуществления изобретения, металлическая проволока представляет собой проволоку, которая содержит титан или титановый сплав или никель или никелевый сплав.

В изобретении также предложены системы для изготовления трехмерного объекта из металлического материала посредством технологии послойного  
30 формирования. Система может содержать направляющую с жидкостным охлаждением для подведения металлической проволоки в положение над материалом основы; электрический контактный элемент с жидкостным охлаждением, находящийся в контакте с металлической проволокой, для подведения тока величиной по меньшей мере 100 А к металлической проволоке;

первую сварочную горелку для расплавления металлической проволоки, чтобы вынудить металлический материал каплями падать на материал основы, и компьютерную модель подлежащего изготовлению объекта для задания профиля наложения слоев, так чтобы построение физического объекта происходило путем последовательного наплавления слоев металлического материала на материал основы. Система может также содержать платформу привода, которая выполнена с возможностью перемещения материала основы относительно по меньшей мере указанной сварочной горелки. Система может также содержать рычаг привода, который выполнен с возможностью перемещения первой сварочной горелки. Система может дополнительно содержать вторую сварочную горелку для предварительного нагревания материала основы в области, куда должно происходить наложение металлического материала. Система может также содержать рычаг привода, который выполнен с возможностью перемещения второй сварочной горелки.

Дополнительные отличительные признаки и преимущества изобретения будут сформулированы в последующем описании; они частично будут очевидны из описания, или их можно будет уяснить путем реализации изобретения. Задачи и другие преимущества изобретения будут решены или реализованы посредством конструкции, на которую указывает описание и формула изобретения, а также прилагаемые чертежи.

Следует понимать, что как последующее общее описание, так и подробное описание являются примерами и служат целям объяснения изобретения дополнительно к формуле изобретения.

#### Перечень фигур, чертежей

Прилагаемые чертежи, которые включены, чтобы обеспечить дополнительное понимание изобретения, составляют часть данного описания, иллюстрируют варианты осуществления изобретения, и вместе с описанием служат целям объяснения принципов изобретения. Для наглядности чертежи выполнены не в масштабе, при этом некоторые компоненты опущены.

На чертежах:

фиг. 1 в аксонометрии изображает вариант осуществления узла токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением, соответствующего настоящему изобретению,

фиг. 2 схематически изображает пример электрического контактного элемента с жидкостным охлаждением, являющегося частью узла токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением, соответствующего настоящему изобретению,

5           фиг. 3 схематически изображает пример конструкции направляющей 120.

Фиг. 4А-4С изображают примеры конструкции направляющей с жидкостным охлаждением. На фиг. 4А изображен пример направляющей 120, содержащей тракт для охлаждающей жидкости. Фиг. 4В представляет вид сверху варианта конструкции, в которой охлаждающая жидкость циркулирует по периферии направляющей 120. Фиг. 4С изображает в разрезе направляющую 10   120 для проволоки, содержащую входной канал 135 теплоносителя и выходной канал 137 теплоносителя.

#### Сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения

15

#### А. ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Если не определено иное, то все технические и научные термины, использованные в настоящем описании, имеют то же значение, какое повсеместно должно быть понятным для специалистов в той области, к какой 20   относится изобретение. Все патенты, патентные заявки, опубликованные заявки, а также публикации, вебсайты и другие опубликованные материалы, на которые повсеместно в описании сделаны ссылки, если не отмечено иное, целиком включены в изобретение посредством ссылок. В случае, если существует несколько определений для терминов, применяемых в описании, приоритет 25   имеют те, которые используются в настоящем разделе. Если ссылка сделана на URL или иной такой же идентификатор или адрес, то следует понимать, что такие идентификаторы могут изменяться, и конкретная информация в сети Интернет может появляться и исчезать, но путем поиска в сети Интернет может быть найдена эквивалентная информация. Ссылки на такую информацию 30   свидетельствуют о наличии и широком распространении такой информации.

Использованные в данном описании существительные, указанные в единственном числе, включают в себя и множественное число, если контекст явным образом не указывает на иное.

В данном тексте в отношении диапазонов и количеств может использоваться наречие «приблизительно». При этом термин «приблизительно» включает в себя и самое точное значение. Поэтому «приблизительно 5%» означает «около 5%» и также «5%». «Приблизительно» также означает «в пределах типичной ошибки эксперимента» для предполагаемого случая применения или назначения.

В том смысле, в каком они использованы в данном описании, термины первый, второй, третий и т.п. могут применяться для описания различных элементов, компонентов, областей, слоев и/или участков, причем на такие элементы, компоненты, области, слои и/или участки указанные термины не должны накладывать ограничение. Данные термины могут быть использованы только чтобы отличать один элемент, компонент, область, слой и/или участок от другой области, слоя или участка. Термины «первый», «второй» и другие числовые термины, при использовании в настоящем описании не подразумевают какую-либо очередность или порядок, если на это явным образом не указывает контекст. Таким образом, первый элемент, компонент, область, слой и/или участок, который будет обсуждаться ниже, мог бы быть назван вторым элементом, компонентом, областью, слоем и/или участком, и при этом рассуждения не выходили бы за границы замысла, содержащегося в примерах вариантов осуществления изобретения.

В том смысле, в каком они использованы в настоящем описании, термины «опциональный» или «опционально», означает, что событие или обстоятельство, которое будет далее описано, имеет место или не имеет места, и что описание включает в себя случаи, когда событие или обстоятельство имеет место или не имеет места. Например, «опциональный» компонент в системе может в этой системе присутствовать или отсутствовать.

В том смысле, в каком он использован в данном описании, термин «токоподводящий наконечник» относится к элементу, который электрически присоединяет металлическую проволоку при операции сварки металлическим электродом в инертном газе (англ. MIG-welding, Metal Inert Gas Welding).

В том смысле, в каком он использован в данном описании, термин «сочетание; комбинация» относится к любому объединению двух или более элементов. Такое объединение может быть в пространстве или может относиться к использованию двух или более элементов с общей целью.

Термин «плазмотрон» (англ. PTA torch, Plasma Transferred Arc Torch) в настоящем описании использован взаимозаменяемо и относится к любому устройству, которое обладает способностью нагревать и возбуждать поток инертного газа до состояния плазмы за счет электрического дугового разряда, и  
5 затем передавать поток плазмообразующего газа, включая электрическую дугу, наружу через отверстие (такое, как сопло), чтобы сформировать сжатую струю, которая выходит из отверстия и переносит интенсивное тепло дуги в ограниченную целевую область. Электрод и целевая область могут быть электрически соединены с источником питания постоянного тока, так что  
10 электрод плазменной горелки становится катодом, а целевая область становится анодом. Благодаря этому обеспечивается, что плазменная струя, включающая электрическую дугу, доставляет высококонцентрированный поток тепла к небольшой площади поверхности целевой области при высоком уровне контроля локального распределения и величины теплового потока, подаваемого от  
15 плазменной горелки. Плазменная дуга прямого действия (англ. plasma transferred arc) обладает преимуществом, заключающимся в обеспечении стабильной и однородной дуги с малым блужданием и хорошей способностью переносить изменение расстояния между катодом и анодом. Таким образом, плазменная горелка с дугой прямого действия (плазмотрон) является пригодной и для  
20 нагревания материала основы, например, чтобы расплавлять по меньшей мере часть материала основы и образовывать лунку расплава в материале основы, а также для нагревания и плавления подаваемой металлической проволоки. В предпочтительном варианте плазмотрон может содержать электрод, выполненный из вольфрама и сопло, выполненное из меди. Однако, изобретение  
25 не привязано к какому-либо конкретному выбору или типу плазменной горелки. Может быть использовано любое известное или возможное устройство, способное функционировать в качестве плазменной горелки с дугой прямого действия, обеспечивающей стабильный источник тепла для плавления металлической электродной проволоки.

30 В том смысле, в каком он использован в данном описании, термин «горелка плазменно-дуговой сварки, горелка ПДС» (англ. PAW torch, Plasma Arc Welding Torch) относится к сварочной горелке, которую можно использовать для плазменно-дуговой сварки. Данная горелка рассчитана так, что газ может быть нагрет до высокой температуры, чтобы образовалась плазма и газ стал

электропроводящим; плазма затем переносит электрическую дугу на обрабатываемое изделие, при этом интенсивное тепло от дуги может плавить металл и/или сплавлять два куска металла вместе. Горелка ПДС может содержать сопло для сжатия дуги и тем самым увеличения плотности энергии дуги. Плазмообразующим газом обычно является аргон. Плазмообразующий газ можно подавать вдоль электрода, при этом вблизи катода может происходить ионизация газа и увеличение его скорости. Такую дугу можно направлять на обрабатываемое изделие, и она будет более стабильной, чем свободно горящая дуга (такая как у горелки TIG). У горелки ПДС также обычно имеется внешнее сопло для подачи защитного газа. Защитным газом может служить аргон, гелий или их смесь, при этом защитный газ помогает минимизировать окисление расплавленного металла. Величина тока в типичном случае доходит до 400 А, а напряжение обычно находится в интервале приблизительно 25-35 В (но может доходить и приблизительно до 14 кВ). К разновидности горелок ПДС относятся и плазмотроны.

Термин «металлический материал» в том смысле, в каком он используется в настоящем описании, относится к любому известному или возможному металлу, или металлическому сплаву, который может быть выполнен в виде проволоки, и использован в процессе изготовления твердого тела посредством технологии послойного формирования с целью изготовления трехмерного объекта. Примерами подходящих материалов помимо других возможных являются титан и титановые сплавы, такие как Ti-6Al-4V, никель и никелевые сплавы, а также другие металлы и сплавы металлов

Термин «материал основы» в том смысле, в каком он используется в настоящем описании, относится к целевому материалу, на который должен быть наплавлен металлический материал. При наплавлении первого слоя металлического материала материалом основы будет служить несущая подложка. Когда на несущую подложку будут наплавлены один или более слоев металлического материала, материалом основы будет служить верхний слой наплавленного металлического материала, чтобы на него наплавливать новый слой металлического материала.

Термин «несущая подложка» в том смысле, в каком он используется в настоящем описании, относится к базовой подложке, которую вначале загружают в камеры, и на которую наплавливают добавочный материал (такой же как

материал несущей подложки или отличный от несущей подложки), используя технологию изготовления предметов произвольной формы, с целью получения изделия. Согласно примерам осуществления изобретения, несущая подложка представляет собой плоский лист. В других вариантах осуществления несущей подложкой может служить штампованная деталь. В каких-то еще вариантах несущей подложкой может служить предмет, на который должен быть наплавлен добавочный материал. Согласно примерам, несущая подложка может становиться частью изделия. Материалом для несущей подложки может служить металл или металлический сплав. Согласно примерам осуществления изобретения, несущая подложка выполнена из того же материала, что и исходный материал проволоки.

Термин «изделие» в том смысле, в каком он используется в настоящем описании, относится к металлическому телу, которое изготавливают посредством технологии послойного формирования.

Термин «модель из системы автоматизированного проектирования» (англ. CAD-model, Computer Aided Design Model) в том смысле, в каком он взаимозаменяемо используется в настоящем описании, относится к любому известному или возможному трехмерному представлению подлежащего изготовлению объекта, которое может быть использовано в системе управления комплекса в соответствии с изобретением в его втором аспекте: регулированием положения и перемещением несущей подложки и приведением в действие сварочной горелки с встроенным механизмом подачи проволоки, так чтобы построение физического объекта происходило путем последовательного наплавления слоев металлического материала на несущую подложку или материал основы по такой схеме, которая приводит к формированию физического объекта в соответствии с виртуальной трехмерной моделью объекта. Этого можно добиться, например, создавая виртуальную векторизованную послойную модель трехмерного объекта, вначале путем разбиения виртуальной трехмерной модели на множество виртуальных параллельных горизонтальных слоев, а затем путем разбиения каждого из параллельных слоев на множество виртуальных квазиодномерных элементов. Затем физический объект может быть сформирован путем приведения в действие системы управления для нанесения и наплавления рядов квазиодномерных элементов подаваемого металлического материала на несущую подложку согласно схеме, соответствующей первому

слою виртуальной векторизованной послойной модели объекта. Затем указанную очередность повторяют для второго слоя объекта, нанося и наплавливая ряды квазиодномерных элементов свариваемого материала на ранее нанесенный слой согласно схеме, соответствующей второму слою виртуальной векторизованной послойной модели объекта. Наплавление продолжают, повторяя операции нанесения и наплавления слой за слоем для каждого очередного слоя виртуальной векторизованной послойной модели объекта, пока не будет сформирован весь объект.

Однако, изобретение не привязано ни к какой конкретной модели CAD и/или компьютерной программе для приведения в действие системы управления комплекса в соответствии с изобретением, и также изобретение не привязано ни к какому конкретному типу системы управления. Могут быть использованы любые известные или возможные системы управления (модель CAD, автоматизированная система или программа управления производством (англ. CAM, Computer-Aided Manufacture), компьютерная программа, компьютерные аппаратные средства с приводами и т.п.), способные изготавливать металлические трехмерные объекты посредством технологии послойного формирования. Согласно примерам осуществления изобретения, система управления может быть настроена так, чтобы по-отдельности приводить в действие первую горелку ПДС для предварительного нагрева материала основы, и вторую горелку ПДС для плавления проволоки подаваемого металлического материала в лунку расплава. Первая горелка ПДС может обеспечивать энергию достаточную для предварительного нагрева материала основы, так чтобы он мог принимать капли расплавленного металла проволоки, т.е. расплавленного металлического материала в точке, где должен быть нанесен расплавленный металлический материал. Предварительное нагревание материала основы может обеспечить адекватное сплавление материала основы с металлическим материалом, поступающим в виде капель от расплавленной металлической проволоки. Первая горелка ПДС способствует сплавлению материала основы с расплавленным металлическим материалом за счет заглубления области плавления в материал основы. Согласно некоторым вариантам осуществления, предварительный нагрев не расплавляет материал основы. Согласно другим вариантам, первая горелка ПДС расплавляет по меньшей мере часть материала основы, чтобы сделать материал основы более восприимчивым. Согласно

некоторым вариантам, первая горелка ПДС доставляет достаточно тепловой энергии, чтобы образовалась лунка расплава в материале основы в том месте, на которое должен быть наплавлен металлический материал.

Позиционирование материала основы и любой одной или более горелок ПДС может быть осуществлено путем использования одного или более приводов. Согласно примерам осуществления изобретения, материал основы можно перемещать, используя платформу с приводом, на которой покоится материал основы. Платформа с приводом может перемещать материал основы в любом направлении. Согласно примерам осуществления изобретения, платформа с приводом может быть установлена на систему направляющих или рельсов, и может быть способна перемещать материал основы в любом требуемом направлении. Как вариант, платформу с приводом можно приводить в действие механической рукой-манипулятором или рукой робота. Приводом также можно управлять посредством гидравлики. Аналогично, одну или более горелок ПДС можно приводить в движение посредством одного или более приводов. Например, каждая из таких горелок ПДС может быть присоединена к независимо управляемому рычагу привода, такому как механическая рука-манипулятор или рука робота. Этими приводами также можно управлять, используя гидравлику. Для осуществления руки-манипулятора могут также быть использованы другие типы механизмов, например, системы рельсов или направляющих. Согласно примерам осуществления изобретения, в которых используются две или более горелок ПДС, каждую горелку ПДС можно перемещать независимо. В иных конструкциях, где используются две или более горелок ПДС, положение двух или более горелок может быть зафиксировано друг относительно друга, при этом одна или более рук-манипуляторов могут одновременно перемещать указанные две или более горелок ПДС. Согласно примерам осуществления, платформа является единственным устройством, где используется привод, а указанные одна или более горелок ПДС удерживаются в неподвижном положении во время наплавления материала. В иных вариантах платформа с приводом перемещает материал основы только в двух направлениях в одной плоскости, в то время как одна или более рук-манипуляторов перемещают одну или более горелок ПДС только в одном направлении, например, перпендикулярно плоскости, в которой перемещается платформа с приводом. Законным может быть также и обратное решение, при котором одна или более рук-манипуляторов перемещают одну или

более горелок ПДС в двух направлениях в одной плоскости, в то время как платформа с приводом перемещает материал основы вдоль одного единственного направления. В иных вариантах материал основы в ходе наплавления поддерживают в фиксированном положении, а одну или более рук-  
5 манипуляторов используют для перемещения одной или более горелок ПДС. Согласно еще одному варианту, платформу с приводом и одну или более рук-манипуляторов все используют для перемещения материала основы и одной или более горелок ПДС.

#### 10 В. УЗЕЛ ТОКОПОДВОДЯЩЕГО НАКОНЕЧНИКА С ЖИДКОСТНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

В настоящем изобретении предложен узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением. Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением дает возможность увеличить производительность и  
15 производственный выход изделий, изготовленных путем непосредственного наплавления металла, без риска частой замены токоподводящего наконечника по причине перегрева. Благодаря тому, что в узле токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением осуществляется отвод тепловой энергии от области близкой к токоподводящему наконечнику, могут быть использованы более  
20 высокие значения электрического тока, чем в традиционном токоподводящем наконечнике, что может в результате дать увеличение скорости изготовления изделий, получаемых путем наплавления металла, благодаря наплавлению большего количества металла из металлической проволоки на материал основы, и более быстрому формированию изделия. В контактном элементе с жидкостным  
25 охлаждением можно использовать электрический ток большой величины. Например, может быть использован электрический ток величиной 350 А, 375 А или 400 А или более. Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением может содержать электрический контактный элемент, содержащий каналы, выполненные с возможностью пропускания охлаждающей жидкости  
30 через электрический контактный элемент для отвода тепловой энергии от него. Жидкостные каналы электрического контактного элемента могут быть выполнены так, чтобы они проходили вблизи токоподводящего наконечника, и отводили тепловую энергию от области близкой к токоподводящему наконечнику. Такое построение каналов охлаждения позволяет отводить любую излишнюю тепловую

энергию от области близкой к токоподводящему наконечнику, и может препятствовать тепловому расширению токоподводящего наконечника. В системах, устройствах и способах, предлагаемых в настоящем изобретении, расходуемый токоподводящий наконечник является отдельной деталью и отстоит от направляющей, при этом металлическая проволока приводится в контакт с токоподводящим наконечником после того, как проволока будет пропущена через концевой участок направляющей.

Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением может также содержать направляющую с жидкостным охлаждением. Направляющая содержит центральное отверстие, которое проходит вдоль центральной продольной оси направляющей, и через которое может проходить металлическая проволока. Направляющую располагают ниже электрического контактного элемента, при этом металлическая проволока входит в один конец направляющей, проходит через направляющую, и выходит с другого конца направляющей, где она оказывается в плазменной дуге плазмотрона над точкой наплавления металла на изделие. Направляющая может содержать тракт для охлаждающей жидкости. Тракт для охлаждающей жидкости содержит впуск для теплоносителя направляющей, который соединено и сообщается по текучей среде с каналом для теплоносителя, проходящим сквозь направляющую и дает возможность охлаждающей жидкости проходить через направляющую для поглощения тепловой энергии от электрического контактного элемента, с которым направляющая находится в тепловом контакте. Каналы теплоносителя могут быть построены так, чтобы они находились внутри направляющей. Например, каналы теплоносителя могут быть расположены так, чтобы они пересекали верхнюю часть направляющей, которая находится в контакте по меньшей мере с частью электрического контактного элемента. Каналы теплоносителя также могут быть расположены на краю направляющей.

На фиг. 1 изображен пример осуществления узла 100 токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением. В изображенной конструкции узел токоподводящего наконечника содержит направляющую 120, электрический контактный элемент 200 и механизм 190 поджатия проволоки. Электрический контактный элемент 200 может быть соединен с несущим элементом 350. Электрический контактный элемент 200 может быть термически изолирован от несущего элемента 350 путем использования теплоизоляционного материала 560

в области контакта между электрическим контактным элементом 200 и несущим элементом 350. Теплоизоляционный материал 560 может быть выбран так, чтобы он обладал низкой теплопроводностью. Примеры материалов, которые могут быть использованы в качестве теплоизоляционного материала 560, включают в себя керамику и пластмассы. К примерам керамики относятся оксиды и нитриды Al, B, Zr, Mg, Y, Ca, Si, Ce, In и Sn, а также их сочетания (см. например, патенты США 6344287; 4540879; и 7892597).

Электрический контактный элемент 200 содержит токоподводящий наконечник 215, впуск 225 для теплоносителя и выпуск 228 для теплоносителя. Впуск 225 для теплоносителя и выпуск 228 для теплоносителя сообщаются по текучей среде через каналы теплоносителя (см. фиг. 2), которые находятся внутри электрического контактного элемента 200, и дают возможность охлаждающей жидкости проходить от впуска 225 для теплоносителя сквозь электрический контактный элемент 200, в частности в ближней зоне токоподводящего наконечника 215, а после поглощения тепловой энергии выходить из электрического контактного элемента 200 через выпуск 228 для теплоносителя.

Размер электрического контактного элемента 200 позволяет использовать более высокие значения токов через контактный элемент 200 и токоподводящий наконечник 215. Электрический контактный элемент 200 может быть выполнен из меди, медного сплава, титана или титанового сплава. Заменяемый токоподводящий наконечник 215 может быть выполнен из меди, или медного сплава или композита. Медный сплав может содержать медь любого сорта по ASTM кл. 2-10. Медный сплав или композит может включать в себя медь в комбинации с Ag, Al, Be, Bo, Cr, In, Mg, Ni, Sn, Sr, W, Zn или Zr или с сочетанием указанных элементов. В частности, токоподводящий наконечник 215 может включать в себя сочетание меди и вольфрама, например, может представлять собой композит в виде спеченных меди/вольфрама. Электрический контактный элемент 200 содержит электрический соединитель 230 для подвода питания к токоподводящему наконечнику 215. Электрический соединитель 230 дает возможность присоединить токоподводящий наконечник 215 к источнику питания постоянного тока, так что, когда токоподводящий наконечник 215 приводят в контакт с металлической проволокой, металлическая проволока становится

анодом. Электрод плазмотрона присоединяют к источнику постоянного тока так, что плазмотрон становится катодом.

Фиг. 2 и 5 изображают пример варианта осуществления электрического контактного элемента 200. На фиг. 2 и 5 показан тракт для охлаждающей жидкости, содержащий впуск 225 для теплоносителя, входной канал 226 теплоносителя, который пересекает электрический контактный элемент 200, и дает возможность теплоносителю проходить от впуска 225 для теплоносителя к области вблизи токоподводящего наконечника 215, и выходной канал 227 теплоносителя, который дает возможность нагретому теплоносителю выходить из электрического контактного элемента 200 через выпуск 228 для теплоносителя. При работе жидкое охлаждающее вещество проходит через входной канал 226 теплоносителя, который работает в качестве теплообменника. Жидкий теплоноситель поглощает тепловую энергию от электрического контактного элемента 200. В конкретных вариантах осуществления изобретения входной канал 226 теплоносителя может проходить до зоны вблизи токоподводящего наконечника 215, поглощая тепловую энергию от токоподводящего наконечника 215. Каналы охлаждения в электрическом контактном элементе 200 могут быть выполнены так, чтобы максимально увеличить отбор тепла от токоподводящего наконечника 215. Чтобы облегчить поглощение или передачу тепловой энергии, поверхность входного канала 226 теплоносителя может быть оснащена выступами, например, иглами, ребрами или иными подобными элементами, которые наряду с другими факторами могут увеличить поверхность контакта между охлаждающей жидкостью и стенками входного канала 226 теплоносителя.

Хотя входной канал 226 теплоносителя на фиг. 2 и 3 показан так, как если бы он состоял из одного слоя каналов, параллельных токоподводящему наконечнику 215, для охлаждения электрического контактного элемента 200 могут быть использованы и другие конфигурации: например, дугообразные каналы, которые проходят через область выше токоподводящего наконечника 215, или группа каналов, которые проходят по длине электрического контактного элемента 200, или группа слоев входных каналов 226 теплоносителя, или входные каналы теплоносителя, которые расположены на периферии электрического контактного элемента 200, или сочетания этих вариантов.

Может быть использована любая охлаждающая жидкость, подходящая для температур, которые могут встретиться внутри электрического контактного элемента. Примером охлаждающей жидкости может служить вода, C<sub>1</sub>-C<sub>5</sub> спирт, полиальфаолефин, алкиленгликоль такой, как этиленгликоль или пропиленгликоль или смеси указанных веществ. Согласно некоторым вариантам осуществления, охлаждающей жидкостью является вода, смесь воды с пропиленгликолем или смесь воды с этиленгликолем. Охлаждающая жидкость может включать присадки, такие как соли, ингибиторы коррозии, регуляторы pH или сочетания таких веществ.

Узел 100 токоподводящего наконечника также содержит направляющую 120. Пример направляющей изображен на фиг. 3. Направляющая 120 может содержать продольную центральную ось A-A', первый конец 140, противоположный второй конец 150, и центральное отверстие 130, проходящее вдоль продольной центральной оси направляющей 120 от ее первого конца 140 до второго конца 150.

Как показано на фиг. 1, направляющая 120 в общем расположена ниже электрического контактного элемента 200, однако электрический контактный элемент 200 может быть выполнен так, чтобы направляющая 120 была расположена выше электрического контактного элемента 200. Металлическая проволока (на фиг. 1 не показана) входит в направляющую 120 с одного конца, проходит через направляющую 120 и выходит из направляющей 120 с другого конца, где она оказывается в плазменной дуге горелки ПДС над точкой наплавления металла на изделие.

Направляющая 120 может иметь любую другую форму, при условии, что ее конструкция позволяет принимать металлическую проволоку и дает возможность металлической проволоке проходить через направляющую без помех. Согласно некоторым вариантам осуществления, направляющая 120 может в целом иметь цилиндрическую форму, чтобы в ней могла разместиться металлическая проволока по существу кругового поперечного сечения, как показано на фиг. 4А. Поперечное сечение наружной части направляющей 120 может иметь форму круга, овала, эллипса или многоугольника, например, квадрата, треугольника, четырехугольника, пятиугольника, шестиугольника, восьмиугольника или может заключать в себе любое сочетание указанных форм.

Направляющая может содержать выступы или выдающиеся части на своей наружной поверхности, например, для центровки направляющей или для крепления направляющей к опоре или иным элементам, или для сцепления с электрическим контактным элементом 200, и/или чтобы направить электрический контактный элемент 200 относительно направляющей 120. Например, варианты осуществления, показанные на фиг. 4А и 4В, содержат крепежный выступ 122, который позволяет прикрепить направляющую 120 к опоре.

Направляющая 120 может содержать нижнее отверстие 125, которое дает возможность пыли или частицам материала металлической проволоки выходить из направляющей 120, прежде чем они попадут в область вблизи формируемого изделия. Нижнее отверстие 125 может проходить до конца направляющей 120. Направляющая 120 может иметь усеченную форму, так чтобы металлическая проволока 180 выходила из выходного отверстия 155, не опираясь ни на что, как показано на фиг. 3. Как показано на фиг. 1 и 5, изолированная головка 195 механизма 190 поджатия проволоки поджимает металлическую проволоку 180 и приводит ее в контакт с токоподводящим наконечником 215.

Направляющая 120 может содержать электроизоляционное покрытие 160, которое может отделять по меньшей мере часть направляющей 120 от металлической проволоки. Не обязательно, чтобы электроизоляционное покрытие полностью окружало металлическую проволоку 180. Например, часть нижней области электроизоляционного покрытия 160 может быть убрана. Например, может быть убран дуговой сегмент электроизоляционного покрытия, стягивающий угол, измеренный от горизонтального диаметра, величиной приблизительно от  $10^\circ$  до  $180^\circ$ . Когда электроизоляционное покрытие имеет круговое поперечное сечение, удаление дугового сегмента, стягивающего угол  $180^\circ$ , приводит к тому, что остается полукруглое электроизоляционное покрытие, закрывающее верхнюю часть металлической проволоки 180.

Направляющая может быть электрически изолирована от металлической проволоки путем использования электроизоляционного покрытия, содержащего электроизоляционный материал, пригодный для применения в условиях, в которых направляющая будет находиться в ходе процесса сварки. Электроизоляционный материал может представлять собой 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 или их комбинации. Электроизоляционный материал может представлять собой или может содержать нитрид алюминия, оксид алюминия, нитрид магния, оксид магния, кварц, нитрид кремния, нитрид бора, диоксид циркония, а также смеси и сочетания указанных вариантов.

5 Электроизоляционное покрытие может быть выполнено так, чтобы оно помещалось внутри направляющей. Электроизоляционное покрытие может быть выполнено так, чтобы оно выступало с одного конца или с обоих концов направляющей.

10 Когда электроизоляционное покрытие вблизи центрального отверстия, через которое проходит металлическая проволока, содержит изоляционную керамику, поверхность изоляционной керамики может быть обработана для уменьшения шероховатости поверхности керамики, которая изолирует металлическую проволоку. Обработка поверхности может способствовать минимизации или исключению царапин или задиров металлической проволоки, 15 когда последняя проходит сквозь электроизоляционное покрытие. К примеру, поверхность электроизоляционного покрытия 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 20 лазерное гляцевание, чтобы уменьшить трение и получить более гладкую поверхность изоляционной керамики. Поверхность электроизоляционного покрытия может быть обработана, чтобы получить алмазоподобное углеродное покрытие. Для снижения трения на поверхность электроизоляционного покрытия может быть нанесен тефлон (англ. PTFE, polytetrafluoroethylene). Обработка 25 поверхности может способствовать минимизации образования мелких частиц металлической проволоки, которые могут образовываться в силу взаимодействия металлической проволоки с шероховатой поверхностью изоляционной керамики.

Направляющая 120 может быть термически изолирована от несущего элемента 350 посредством теплоизоляционного материала 560, размещенного 30 между точками контакта направляющей 120 с несущим элементом 350. В качестве теплоизоляционного материала 560 могут быть использованы такие материалы, например, как керамика и пластмассы.

Направляющая 120 может содержать тракт для охлаждающей жидкости. Тракт для охлаждающей жидкости может минимизировать или исключить

тепловое расширение металлической проволоки внутри направляющей 120, которое могло быть вызвано большим током через токоподводящий наконечник 215. Тракт для охлаждающей жидкости может минимизировать или исключить тепловое расширение самой направляющей 120. Тепловое расширение направляющей 120 могло бы приводить к увеличению трения между направляющей и металлической проволокой, к повреждению или царапинам электрода, что вызывало бы смещение металлической проволоки и нарушение правильного позиционирования проволоки в дуге. Изменения геометрии направляющей 120, вызванные перегревом, могут также приводить к неравномерному контактному износу, из-за удлинения или неравномерности, которые вызваны нагревом. Перегрев направляющей 120 может также приводить к образованию деформаций, микропор или усталостных явлений в направляющей 120, что может вызывать выход направляющей 102 из строя.

Пример осуществления направляющей приведен на фиг. 4А. Согласно данному варианту осуществления, тракт для охлаждающей жидкости содержит впускной участок 157 для теплоносителя направляющей, который соединен и имеет сообщается по текучей среде с входным каналом 135 теплоносителя, который пересекает направляющую 120 и позволяет охлаждающей жидкости проходить сквозь направляющую 120, чтобы поглощать тепловую энергию от электрического контактного элемента 200, с которым направляющая 120 находится в тепловом контакте. В показанном варианте осуществления входной канал 135 теплоносителя проходит через верхнюю часть направляющей 120, которая контактирует по меньшей мере с частью электрического контактного элемента 200. После поглощения тепловой энергии охлаждающая жидкость проходит через выходной канал 137 теплоносителя к выпускному участку 159 для теплоносителя направляющей, чтобы выйти из направляющей 120.

Другой вариант осуществления изображен на фиг. 4В и 4С. В изображенных вариантах впускной участок 157 для теплоносителя направляющей соединен и имеет жидкостную связь с входным каналом 135 теплоносителя, который расположен на краю направляющей 120. После поглощения тепловой энергии охлаждающая жидкость проходит через выходной канал 137 теплоносителя, который расположен на другом краю направляющей 120, и выходит из направляющей 120 через выпускной участок 159 для теплоносителя направляющей.

Хотя на фиг. 4А показано, что входной канал 135 теплоносителя содержит один слой каналов, параллельных верхней поверхности направляющей 120, для охлаждения направляющей 120 могут быть использованы другие схемы каналов, например, в виде каналов, расположенных перпендикулярно верхней поверхности направляющей 120, или в виде множества каналов, которые проходят по длине направляющей 120, или множества слоев входного канала 135 теплоносителя, или их комбинаций которые включают в себя входные каналы теплоносителя, которые расположены вдоль периферии направляющей 120.

Во время работы охлаждающая жидкость проходит через впускной патрубок 570 подачи теплоносителя к впускному участку 157 для теплоносителя направляющей, проходит через входной канал 135 теплоносителя для поглощения тепловой энергии, при этом нагретая охлаждающая жидкость проходит через выходной канал 137 теплоносителя, и выходит из направляющей 120 через выпускной участок 159 для теплоносителя направляющей. Согласно фиг. 1, впускной участок 157 для теплоносителя направляющей соединен с впускным патрубком 570 подачи теплоносителя, а выпускной участок 159 для теплоносителя направляющей соединен с выпускным патрубком 580 отвода теплоносителя. Чтобы способствовать поглощению или передаче тепловой энергии, поверхность входного канала 135 теплоносителя может быть оснащена выступами, например, иглами, ребрами или иными подобными элементами, которые наряду с другими факторами могут увеличить поверхность контакта охлаждающей жидкости со стенками входного канала 135 теплоносителя.

Может быть использована любая охлаждающая жидкость, подходящая для температур, которые могут встретиться внутри электрического контактного элемента. Примером охлаждающей жидкости может служить вода, C<sub>1</sub>-C<sub>5</sub> спирт, полиальфаолефин, алкиленгликоль такой, как этиленгликоль или пропиленгликоль или смеси указанных веществ. Согласно некоторым вариантам осуществления, охлаждающей жидкостью является вода, смесь воды с пропиленгликолем или смесь воды с этиленгликолем. Охлаждающая жидкость может включать присадки, такие как соли, ингибиторы коррозии, регуляторы pH или сочетания таких веществ. Охлаждающая жидкость характеризуется удельной теплоемкостью, при этом массовый расход охлаждающей жидкости можно изменять, чтобы получить эффективное охлаждение направляющей 120 и электрического контактного элемента 200.

Соединитель 450 посредством крепежного элемента 465 может быть прикреплен к несущему элементу 350. Соединитель 450 может скреплять источник 400 подачи металлической проволоки с несущим элементом 350, и может содержать отверстие 460 для размещения металлической проволоки.

5 Металлическую проволоку подают к одному концу направляющей 120; проволока проходит сквозь направляющую 120 и выходит из другого конца направляющей 120, где она оказывается в плазменной дуге над точкой наплавления металла на изделие. Токосводящий наконечник 215 может быть расположен так, чтобы он вступал в электрический контакт с металлической проволокой после того, как  
10 последняя будет выходить из конца направляющей 120.

Узел токосводящего наконечника, соответствующий настоящему изобретению, содержит механизм поджатия проволоки, который поджимает металлическую проволоку и приводит ее в электрический контакт с токосводящим наконечником. Механизм поджатия проволоки может иметь  
15 любую конструкцию, содержащую ось, зажим, рычаг или иной элемент, который может иметь любую форму, например, L-образную, прямую, круглую или угловую, и который может прикладывать давление к металлической проволоке, чтобы поддерживать ее электрический контакт с токосводящим наконечником. Механизм поджатия проволоки может содержать изолированную головку, которая  
20 может находиться в контакте с металлической проволокой и не передавать при этом электричества на остальную часть механизма поджатия. В иных вариантах осуществления механизм поджатия проволоки полностью покрыт изоляционным материалом. При конфигурации, предлагаемой в настоящем изобретении, можно иметь единственную точку контакта металлической проволоки с токосводящим  
25 наконечником электрического контактного элемента. За счет этого может быть обеспечена определенная точка контакта, которая не перемещается в направлении подачи проволоки. Это позволяет за счет резистивного нагрева нагревать отрезок металлической проволоки постоянной длины. Пример осуществления механизма поджатия показан на фиг. 1, а на фиг. 3 представлен  
30 вид в другом ракурсе. Механизм 190 поджатия проволоки содержит изолированную головку 195, которая поджимает металлическую проволоку 180 и приводит ее в контакт с токосводящим наконечником 215. Изолированная головка 195 может быть выполнена из любого материала, который совместим с окружающей средой и температурами, действию которых может подвергаться

токоподводящий наконечник. Например, изоляционные материалы, которые могут быть использованы по меньшей мере для головки механизма поджатия, или для покрытия головки или большей части механизма поджатия, могут представлять собой электроизоляционную керамику или могут содержать электроизоляционную керамику. Примерами такой керамики являются оксиды или нитриды Al, B, Zr, Mg, Y, Ca, Si, Ce, In и Sn и комбинации указанных веществ. Электроизоляционный материал может представлять собой или может содержать нитрид алюминия, оксид алюминия, нитрид магния, оксид магния, кварц, нитрид кремния, нитрид бора, диоксид циркония, а также смеси и сочетания указанных элементов. Согласно примерам осуществления изобретения, механизм поджатия может быть выполнен из титана или титанового сплава, при этом головка механизма поджатия либо покрыта одним из вышеперечисленных электроизоляционных материалов, либо выполнена из одного из вышеперечисленных электроизоляционных материалов.

Согласно некоторым вариантам осуществления изобретения, механизм поджатия проволоки может оказывать давление на металлическую проволоку 180, когда проволока 180 проходит через механизм 190, чтобы привести металлическую проволоку 180 в соприкосновение с токоподводящим наконечником 215. Согласно примерам осуществления данное давление действует снизу вверх. Давление для поддержания металлической проволоки 180 в контакте с токоподводящим наконечником 215 может быть создано, например, посредством пружины. Пружина может быть выбрана для создания силы надлежащей величины, которая не настолько велика, чтобы токоподводящий наконечник 215 или механизм 190 поджатия царапали проволоку, но достаточно велика, чтобы поддерживать контакт между токоподводящим наконечником 215 и металлической проволокой. Пружина может быть использована для создания давления, которое заставляет механизм 190 поджатия приводить в контакт и прижимать металлическую проволоку 180 к токоподводящему наконечнику 215. Можно использовать пружину любого типа, например, пружину сжатия, пружину растяжения или пружину кручения, или сочетание пружин указанных типов. Согласно некоторым вариантам осуществления изобретения, чтобы механизм 190 поджатия создавал силу, действующую вверх в направлении токоподводящего наконечника 215, чтобы металлическая проволока соприкасалась с токоподводящим наконечником 215, может быть использована

пружина сжатия с коэффициентом жесткости приблизительно от 0,001 Н/м до 10 Н/м.

Согласно некоторым вариантам осуществления настоящего изобретения, диаметр металлической проволоки может находиться в интервале  
5 приблизительно от 0,8 мм до 5 мм. Металлическая проволока может иметь любой практически реализуемый размер, например, 1,0 мм, 1,6 мм, 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 горелку ПДС, чтобы обеспечить непрерывное нагревание  
10 металлической проволоки и ее плавление, когда проволока достигает требуемого положения над предварительно разогретой областью материала основы.

Электрический контактный элемент содержит токоподводящий наконечник, который приводят в соприкосновение с металлической проволокой. Токоподводящий наконечник электрически соединяет металлическую проволоку с  
15 источником питания постоянного тока. Согласно вариантам осуществления изобретения, токоподводящий наконечник в месте контакта с проволокой может иметь закругленную или наполовину закругленную поверхность. Размер данной закругленной или наполовину закругленной поверхности может быть выбран надлежащим образом, чтобы разместить проволоку, с которой токоподводящий  
20 наконечник должен входить в контакт. Например, для проволоки диаметром приблизительно 1,6 мм токоподводящий наконечник может иметь закругленную или вогнутую поверхность диаметром приблизительно 1,8 мм. Также площадь поверхности токоподводящего наконечника может быть достаточно большой, чтобы дополнительно способствовать исключению перегрева, вызванного  
25 передачей электрического тока. Согласно примерам осуществления, ширина или толщина токоподводящего наконечника может находиться в интервале приблизительно от 1 мм до 10 мм. Токоподводящий наконечник может быть выполнен из меди или медного сплава, или может содержать медь или медный сплав. Медный сплав может содержать медь любого сорта по ASTM кл. 2-10.  
30 Медный сплав может содержать медь в сочетании с любым одним из следующих элементов: Ag, Al, Be, B, Cr, In, Mg, Ni, Sn, Sr, W, Zn или Zr, или с комбинацией данных элементов. Например, токоподводящий наконечник может содержать спеченную композицию W и Cu или сплав Cu и W.

Источник питания также может быть соединен с целевой областью металлического объекта, получаемого посредством технологии послойного формирования. Согласно некоторым вариантам осуществления изобретения, данное электрическое соединение выполняют так, чтобы металлическая проволока являлась катодом, а целевая область являлась анодом. В некоторых вариантах данное электрическое соединение выполняют так, чтобы металлическая проволока была анодом, а целевая область была катодом. Когда металлическая проволока входит в дугу плазмотрона, плазменный факел, содержащий электрическую дугу, доставляет поток с высокой концентрацией тепловой энергии к небольшой площадке целевой области при высоком уровне контроля локального распределения и величины теплового потока, подаваемого от плазмотрона. Плазмотрон обладает преимуществом, обеспечивая стабильную и однородную дугу с малым блужданием и хорошей способностью переносить изменение расстояния между катодом и анодом. Плазмотрон может содержать электрод, выполненный из вольфрама, и сопло из меди или медного сплава. Однако, изобретение не привязано к какому-либо конкретному выбору или типу плазмотрона. Может быть использовано любое известное или возможное устройство, способное функционировать в качестве плазмотрона. Также изобретение может быть реализовано с использованием горелки ПДС, которая не является плазмотроном.

Для изоляции электрического контактного элемента от дуги горелки ПДС может быть использован электроизоляционный материал. Данный электроизоляционный материал может быть расположен у выходного отверстия направляющей металлической проволоки, так чтобы он выступал на некоторое расстояние от выходного отверстия. Длина электроизоляционного материала, выступающего от выходного отверстия, может составлять приблизительно 0,1-10 мм, или приблизительно 0,5-5 мм, или приблизительно 1 мм. Пример осуществления изоляции представлен на фиг. 4А, где показан электроизоляционный материал 160, выступающий от конца направляющей 120.

Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением может быть использован в способах изготовления трехмерных объектов из металлического материала посредством технологии послойного формирования, когда изготовление объекта производят путем последовательного наплавления слоев металлического материала на материал основы. В предпочтительных

вариантах осуществления изобретения узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением используют с системой, в которой используются две горелки ПДС, а более предпочтительно – два плазмотрона, так, как раскрыто в международной заявке 2012/134299. Согласно способам, предложенным в

5 настоящем изобретении, на материал основы, который является таким же металлическим материалом, что и изготавливаемый объект, последовательно накладывают слои металлического материала, при этом каждый очередной слой получают следующим образом: используют горелку ПДС для предварительного нагрева материала основы в том месте, куда должен быть наложен

10 металлический материал, чтобы сделать материал основы более восприимчивым к каплям расплавленного металла от расплавленной металлической проволоки, подают металлическую проволоку через узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением, так чтобы дальний конец проволоки после выхода из узла токоподводящего наконечника оказывался

15 над предварительно нагретым материалом основы, на который должен быть наложен расплавленный металл, используют вторую горелку ПДС для нагревания и плавления металлической проволоки, так чтобы расплавленный металлический материал от металлической проволоки каплями падал на предварительно нагретую поверхность материала основы, и перемещают

20 материал основы относительно положения первой и второй горелок ПДС по заданной схеме, так чтобы последовательно наплавленные слои металлического материала затвердевали и образовывали трехмерное изделие. Первая горелка ПДС может подавать энергию к материалу основы, чтобы гарантировать адекватное сплавление перегретой капли металла от расплавленной

25 металлической проволоки с предварительно нагретой поверхностью материала основы. Согласно некоторым вариантам осуществления, от первой горелки ПДС подводят энергию достаточную для плавления по меньшей мере части поверхности материала основы. Согласно некоторым вариантам, первая горелка ПДС формирует лунку расплава в материале основы, в том месте, куда должны

30 быть нанесены капли расплавленного металла от расплавленной металлической проволоки.

Система с двумя горелками дает возможность увеличивать подачу тепла к металлической проволоке независимо от подачи тепла к материалу основы. В таких конструкциях при использовании плазмотронов источник питания

постоянного тока может быть присоединен так, чтобы электрод первого плазмотрона (расположенного над материалом основы для нагревания материала основы в целях увеличения восприимчивости материала основы к каплям металла от расплавленной металлической проволоки) был отрицательным полюсом, а материал основы был положительным полюсом, и образовалась электрическая цепь, в которой за счет дугового разряда происходит перенос электрического заряда между электродом первого плазмотрона и материалом основы. Отрицательный полюс источника постоянного тока может быть присоединен к электроду второго плазмотрона (расположенного вблизи дальнего конца металлической проволоки, выходящего из узла токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением), а положительный полюс может быть присоединен к металлической проволоке, чтобы образовалась электрическая цепь, в которой за счет дугового разряда происходит перенос электрического заряда между электродом второго плазмотрона и металлической проволокой. Первый и второй плазмотроны могут иметь единый источник питания или отдельные источники питания, и могут иметь единый регулятор или отдельные регуляторы для независимого регулирования питания, подаваемого на каждый из плазмотронов.

## С. ПРИМЕРЫ

Нижеследующий пример включен только в целях иллюстрации, и не имеет целью ограничивать идею приведенных в описании вариантов осуществления изобретения.

Пример осуществления узла токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением схематически изображен на фиг. 1. В данном примере осуществления узел токоподводящего наконечника содержит направляющую 120, выполненную из титана, электрический контактный элемент 200, выполненный из меди, и механизм 190 поджатия проволоки, выполненный из титана, покрытого по меньшей мере частично изоляционной керамикой. Как показано, электрический контактный элемент 200 конструктивно выполнен и расположен так, что токоподводящий наконечник 215 находится вблизи плазмотрона. Отдельно управляемый плазмотрон (на фиг. 1 не показан) используется для предварительного нагревания материала основы. Указанный первый плазмотрон предварительно нагревает материал основы, так чтобы материал стал более

восприимчивым к каплям металла от расплавленной металлической проволоки в том месте, куда должен быть наложен расплавленный металлический материал. Согласно некоторым вариантам, чтобы сделать материал основы более восприимчивым, первый плазмотрон расплавляет по меньшей мере часть материала основы. Согласно некоторым вариантам, первый плазмотрон обеспечивает достаточное количество тепла, чтобы сформировать лунку расплава в материале основы, в том месте, куда должен быть наплавлен металлический материал. Отдельный второй плазмотрон осуществляет плавление металлической проволоки. Такое построение системы дает возможность увеличивать количество тепловой энергии, передаваемое металлической проволоке, независимо от количества тепловой энергии, передаваемой материалу основы для его предварительного нагревания.

Электрический контактный элемент 200 соединен с несущим элементом 350, выполненным из титана. Электрический контактный элемент 200 термически изолирован от несущего элемента 350 за счет использования пластмассы или керамики в качестве изоляционного материала 560 в зоне контакта между электрическим контактным элементом 200 и несущим элементом 350. Изоляционный материал 560 это материал с низкой теплопроводностью. Примеры материалов, который могут быть использованы в качестве теплоизоляционного материала, включают керамику и пластмассы. Электрический контактный элемент 200 содержит токоподводящий наконечник 215 из медного сплава, расположенный так, что токоподводящий наконечник 215 приводится в контакт с металлической проволокой после того, как металлическая проволока выходит из конца направляющей 120.

Электрический контактный элемент 200 содержит систему охлаждения, которая включает в себя впуск 225 для теплоносителя и выпуск 228 для теплоносителя. Впуск 225 для теплоносителя и выпуск 228 для теплоносителя сообщаются друг с другом через каналы для теплоносителя (показаны на фиг. 2), которые находятся внутри электрического контактного элемента 200, и дают возможность охлаждающей жидкости проходить от впуска 225 для теплоносителя сквозь электрический контактный элемент 200, в частности сквозь область вблизи токоподводящего наконечника 215, и после поглощения тепловой энергии выходить из электрического контактного элемента 200 через выпуск 228 для теплоносителя. В данном примере охлаждающей жидкостью является вода.

Электрический контактный элемент 200 содержит электрический соединитель 230 для подачи питания на токоподводящий наконечник 215. Электрический соединитель 230 связывает токоподводящий наконечник 215 с источником питания постоянного тока, так что, когда токоподводящий наконечник 215 приводят в контакт с металлической проволокой, металлическая проволока становится анодом. Электрод плазмотрона присоединяют к источнику постоянного тока так, что плазмотрон становится катодом.

Узел 100 токоподводящего наконечника в данном примере также содержит титановую направляющую 120. Направляющая 120 расположена ниже электрического контактного элемента 200. Металлическая проволока входит в направляющую 120 с одного конца, проходит сквозь направляющую 120 и выходит из направляющей 120 с другого конца, где проволока оказывается в плазменной дуге плазмотрона над точкой наплавления металла на изделие. В представленном примере токоподводящий наконечник 215 приводится в контакт с металлической проволокой после того, как проволока выйдет из направляющей 120. В рассматриваемом примере направляющая 120 имеет в общем цилиндрическую форму и круглое поперечное сечение для размещения металлической проволоки, которая имеет форму проволоки по существу круглого поперечного сечения, как показано на фиг. 4А. Выходная часть направляющей 120 по форме имеет круглое поперечное сечение. Направляющая 120 в рассматриваемом примере содержит крепежный выступ 122, который позволяет фиксировать направляющую 120 на несущем элементе (опоре) 350, как показано на фиг. 4А и 4В. Направляющая 120 в рассматриваемом примере также содержит нижнее отверстие 125, которое дает возможность пыли или частицам материала металлической проволоки выходить из направляющей 120, прежде чем они попадут в зону формирования изделия.

В данном примере направляющая 120 у своего выходного конца содержит электроизоляционное покрытие 160 из керамики на основе оксида алюминия, которое отделяет направляющую 120 от металлической проволоки, и полностью окружает участок металлической проволоки, когда проволока выходит из направляющей 120 (см. фиг. 4В). Направляющая 120 термически изолирована от несущего элемента 350 посредством теплоизоляционного материала, помещенного между точками соприкосновения направляющей 120 и несущего элемента 350.

В данном примере направляющая 120 содержит тракт для охлаждающей жидкости, причем в качестве охлаждающей жидкости используется вода. Тракт для охлаждающей жидкости содержит впускной участок 157 для теплоносителя направляющей, который соединен и имеет жидкостную связь с входным каналом 135 теплоносителя, который пересекает направляющую 120 и позволяет охлаждающей жидкости проходить сквозь направляющую 120, чтобы отводить тепловую энергию от электрического контактного элемента 200, с которым направляющая 120 находится в тепловом контакте. В данном примере входной канал 135 теплоносителя проходит через верхнюю часть направляющей 120, которая соприкасается по меньшей мере с частью электрического контактного элемента 200. После поглощения тепловой энергии охлаждающая жидкость проходит через выходной канал 137 теплоносителя к выпускному участку 159 для теплоносителя направляющей, чтобы выйти из направляющей 120.

Как упоминалось выше, узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением был использован в сварочной системе с двумя горелками, такой, какая раскрыта в международной патентной заявке 2012/134299. Система с двумя горелками дает возможность увеличивать подачу тепла к металлической проволоке независимо от подачи тепла к материалу основы, так что становится возможным увеличивать тепловой поток, поступающий в металлическую проволоку, и увеличивать скорость нанесения расплавленного материала металлической проволоки, не перегревая одновременно материал основы, не рискуя возможностью образования брызг или чрезмерного плавления материала основы, или образования в материале основы слишком большой лунки расплава. В данном примере источник питания постоянного тока был присоединен так, что электрод первого плазмотрона (расположенного над материалом основы для предварительного нагрева материала основы) являлся отрицательным полюсом, а материал основы являлся положительным полюсом, и была образована электрическая цепь, в которой за счет дугового разряда происходил перенос электрического заряда между электродом первого плазмотрона и материалом основы. Электрод второго плазмотрона (расположенного вблизи дальнего конца металлической проволоки, выходящего из узла токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением) был соединен с отрицательным полюсом источника питания постоянного тока, а металлическая проволока была соединена с положительным полюсом, так что была образована электрическая

цепь, в которой за счет дугового разряда происходил перенос электрического заряда между электродом второго плазмотрона и металлической проволокой. В данном примере первый и второй плазмотроны имели отдельные источники питания и отдельные регуляторы для независимого регулирования питания, подаваемого на каждый из плазмотронов. Отдельные тепловые датчики использовали на каждом из плазмотронов для контроля температуры зоны наплавления металла на материал основы и температуры металлической проволоки. Также были использованы средства магнитного отклонения дуги для регулирования ширины дуги и ее положения.

В качестве металлической проволоки использовали проволоку диаметром 2,4 мм из титанового сплава сорта 5 (Grade 5). Скорость подачи (скорость движения проволоки) и положение металлической проволоки контролировали и регулировали в соответствии с влиянием источника питания на второй плазмотрон, чтобы гарантировать непрерывное нагревание и плавление металлической проволоки, когда дальний конец проволоки достигал заданного положения над областью предварительного нагрева материала основы. В данном примере в первом плазмотроне (над материалом основы) устанавливали ток величиной приблизительно 250 А, а во втором плазмотроне устанавливали ток приблизительно до 300 А. Была достигнута скорость направления приблизительно 5 кг/ч.

Система управления (например, автоматизированная система управления производством) может быть приведена в действие для одновременного управления и регулирования работы одного или более приводов (не показаны), которые непрерывно перемещают и позиционируют материал основы и один или более плазмотронов или одну или более горелок ПДС, так чтобы наносить материал в требуемой точке, как это задано моделью CAD объекта, который подлежит изготовлению. Система управления может также быть приведена в действие для управления любым приводом, который управляет плазмотроном или горелкой ПДС предварительного нагрева, так чтобы область предварительного нагрева материала основы или лунка расплава в материале основы находилась там, куда должен быть наплавлен металлический материал.

Система управления в рассмотренных примерах осуществления настоящего изобретения может обеспечить частичную или полную автоматизацию аппарата наплавления. Система управления может включать в

себя процессор компьютера или центральное процессорное устройство (ЦП), дисплей ЦП, один или более источников питания, соединители для подачи питания, сигнальные модули, такие как модули ввода и/или модули вывода, встроенные средства экранирования аналоговых сигналов, накопительные устройства, печатные платы, микросхемы памяти и другие средства хранения, энергонезависимый машиночитаемый носитель информации, содержащий программу, реализуемую в настоящем изобретении, или любое сочетание указанных устройств. Машиночитаемый носитель информации может содержать надлежащую программу для автоматизации любой системы или комбинации систем. В качестве примера, помимо других возможных модули управления могут включать в себя: SIMATIC-S7-1500 от компании Siemens AG (Munich, Germany), систему IndraMotion MTX от компании Bosch Rexroth AG (Lohr am Main, Germany), а также компактную промышленную компьютерную систему SIGMATEK C-IPC от компании SIGMATEK GmbH & Co. KG (Lamprechtshausen, Austria).

Для специалистов в данной области техники должно быть понятно, что в рамках идеи и объема настоящего изобретения в изобретение могут быть внесены различные изменения и предложены варианты. Таким образом, предполагается, что настоящее изобретение охватывает определенные изменения и варианты при условии, что они укладываются в границы идеи и объема изобретения, установленные в формуле изобретения и ее эквивалентах.

#### ПЕРЕЧЕНЬ ОБОЗНАЧЕНИЙ

Ниже приведен перечень ссылочных (позиционных) номеров, которые использованы в описании и прилагаемых чертежах:

25	100	Узел токоподводящего наконечника
	120	Направляющая
	122	Крепежный выступ
	125	Нижнее отверстие
	130	Центральное отверстие
30	135	Входной канал теплоносителя направляющей для проволоки
	137	Выходной канал теплоносителя направляющей для проволоки
	140	Первый конец
	145	Входное отверстие
	150	Второй конец

	155	Выходное отверстие
	157	Впускной участок для теплоносителя направляющей для проволоки
5	159	Выпускной участок для теплоносителя направляющей для проволоки
	160	Электроизоляционное покрытие
	170	Направляющий канал
	180	Металлическая проволока
	190	Механизм поджатия проволоки
10	195	Изолированная головка
	200	Электрический контактный элемент
	215	Токоподводящий наконечник
	225	Впуск для теплоносителя
	226	Входной канал теплоносителя
15	227	Выходной канал теплоносителя
	228	Выпуск для теплоносителя
	230	Электрический соединитель
	350	Несущий элемент
	400	Источник подачи металлической проволоки
20	450	Соединитель
	460	Отверстие для размещения металлической проволоки
	465	Крепежный элемент
	560	Теплоизоляционный материал
	570	Впускной патрубок для подачи теплоносителя
25	580	Выпускной патрубок для отвода теплоносителя

## УЗЕЛ ТОКОПОДВОДЯЩЕГО НАКОНЕЧНИКА С ЖИДКОСТНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ ДЛЯ НАПЛАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛА

### Область техники, к которой относится изобретение

5 Настоящее изобретение относится к способу и устройству для изготовления предметов посредством технологии послойного формования (англ. Solid Freeform Fabrication), особенно предметов из титана и титановых сплавов.

### 10 Сведения о предшествующем уровне техники

Конструкционные металлические детали из титана или титановых сплавов традиционно изготавливают посредством литья, штамповки или станочной обработки из заготовки. Эти разновидности технологии обладают недостатком, заключающимся в больших потерях дорогого материала – титана, и в большом  
15 времени освоения новых изделий.

Физические объекты максимальной плотности можно изготавливать по технологии, которая известна, как технология быстрого изготовления опытных образцов (быстрого прототипирования), технология послойного изготовления, технология изготовления твердых тел послойным формированием, аддитивная  
20 технология или технология объемной печати (3D-печать). В данной технологии используется программное обеспечение системы автоматизированного проектирования (англ. CAD, Computer Aided Design Software), чтобы вначале построить виртуальную модель объекта, который должен быть изготовлен, а затем преобразовать виртуальную модель в комплекс тонких слоев, которые  
25 обычно расположены горизонтально. Затем физический объект может быть изготовлен путем последовательной укладки слоев исходного материала в форме текучей пасты, порошка или иной жидкой форме, которую можно укладывать слоями и распределять, как например, расплавленный металл, к  
30 примеру от расплавленной электродной проволоки, или предварительно подготовленных слоев листового материала, которые имеют сходство с формой виртуальных слоев, пока не будет сформирован весь объект. Указанные слои сплавляют вместе, чтобы сформировать сплошной твердый объект.

Технология изготовления твердых тел послойным формированием представляет собой гибкую технологию, которая позволяет создавать объекты

почти любой формы при сравнительно высоких скоростях изготовления, которые обычно варьируют от нескольких часов до нескольких дней на каждый объект. Таким образом, данная технология подходит для изготовления прототипов и малых производственных партий, и может быть расширена в масштабе до  
5 массового производства.

Технология послойного изготовления может быть расширена, чтобы включить метод наслаивания элементов конструкционного материала, то есть каждый структурный слой виртуальной модели объекта подразделяют на множество элементов, которые при укладке рядом друг с другом образуют слой.

10 Это позволяет формировать металлические объекты путем наваривания проволоки на подложку в виде последовательных полос, образующих каждый слой в соответствии с виртуальной послойной моделью объекта, и повторять процесс для каждого слоя, пока не будет сформирован весь физический объект. В отношении точности технология наваривания обычно слишком груба, чтобы  
15 позволить непосредственно формировать объект с приемлемыми размерами. Таким образом, сформированный объект обычно будет рассматриваться в качестве «сырого» объекта или преформы, которая требует станочной обработки до приемлемой точности размеров.

Из уровня техники известен электронно-лучевой процесс создания  
20 предметов произвольной формы (например, см. работы Taminger и Hafley: “*Characterization of 2219 Aluminum Produced by Electron Beam Freeform Fabrication*” «Характеристики алюминиевого сплава 2219, получаемого в ходе электронно-лучевого процесса изготовления твердых тел послойным формированием» (13-й Симпозиум по изготовлению твердых тел послойным формированием, август 5-7,  
25 2002, Austin, Texas; Proceedings of University of Texas at Austin (2002); “*Electron Beam Freeform Fabrication: A Rapid Metal Deposition Process*” «Электронно-лучевой процесс изготовления твердых тел послойным формированием: процесс быстрого наплавления металла» (3-я Ежегодная конференция по композитам в автомобильной промышленности, сентябрь 9-10, 2003, Troy, MI, Society of Plastics  
30 Engineers (2003); “*Electron Beam Freeform Fabrication for Cost Effective Near-Net Shape Manufacturing*” «Электронно-лучевой процесс изготовления твердых тел послойным формированием для экономически-эффективного изготовления профилей близких к заданным» (Совещание специалистов NATO/RTOAVT-139 по эффективному изготовлению профилей близких к заданным, Amsterdam, the

Neitherlands, 2006 NATO, pp 2-25). У тех же авторов (Taminger, Hafley) описан способ и устройство для изготовления конструкционных металлических деталей непосредственно путем сочетания CAD с электронно-лучевым процессом изготовления предметов произвольной формы (англ. Electron Beam Freeform Fabrication, EBF). Построение конструкционной детали осуществляется путем последовательного наплавления слоев металлической электродной проволоки, которую расплавляют тепловой энергией, создаваемой электронным лучом. Электронно-лучевой процесс EBF включает в себя расплавление металлической проволоки с образованием лунки расплавленного металла, которая создается и поддерживается за счет сфокусированного пучка электронов в условиях высокого вакуума. Позиционирование электронного пучка и электродной проволоки осуществляют, организуя в системе электронную пушку и привод, поддерживающий подложку, которую шарнирно закрепляют с возможностью перемещения вдоль одной или более осей (X, Y, Z и вращения), и регулируя положение электронной пушки и несущей подложки посредством системы управления движением по четырём осям. Утверждают, что данный процесс имеет почти 100% эффективность в отношении использования материала и 95% эффективность в отношении расхода энергии. Способ может быть применим как для наплавления большого объема металла, так и для более тонкого детального наплавления, при этом утверждают, что данный способ позволяет существенно сократить период подготовки проекта к изготовлению и уменьшить затраты на материалы и станочную обработку по сравнению с традиционной методикой изготовления металлических деталей на станках. Электронно-лучевая технология обладает недостатком, поскольку зависит от вакуума в камере наплавления порядка  $10^{-1}$  Па или менее.

Известно (см., например, патентную публикацию США 2010/0193480) использование горелки для сварки вольфрамовым электродом в среде инертного газа (англ. Tungsten Inert Gas, TIG) для изготовления объектов произвольной формы, при котором производится последовательное наплавление на подложку слоев исходного малопластичного металлического материала. Плазменная дуга создается путем возбуждения потока газа с использованием электрода, причем ток, подаваемый на электрод, можно изменять по величине. Плазменную струю направляют в намеченную область для предварительного прогрева намеченной области заготовки перед осуществлением наплавления. Электрический ток

регулируют, и исходный материал подают в плазменную струю, чтобы высадить расплавленный исходный материал в намеченной области. Ток регулируют, и 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.

В патентной публикации США 2006/185473 также раскрыто использование горелки TIG вместо дорогостоящего лазера, который традиционно используется в процессе изготовления объектов произвольной формы, со сравнительно недорогим исходным титановым материалом путем сочетания подачи титана и легирующих компонентов таким образом, что обеспечивается значительное сокращение затрат на исходные материалы. В указанной публикации также раскрыто использование губчатого титанового материала, смешанного с легирующими элементами, и выполненного в виде проволоки, который может быть использован в процессе изготовления объектов произвольной формы в сочетании с горелкой плазменной сварки или иным высокоэнергетическим лучом для изготовления компонентов из титана с формой близкой к заданной.

В международной заявке WO 2006/133034, раскрыта технология непосредственного наплавления металла с использованием гибридного лазерного/дугового процесса для изготовления сложных трехмерных форм, содержащая этапы подготовки подложки и нанесения на нее первого слоя расплавленного металла из исходного металла с использованием лазерного излучения и электрической дуги. Электрическая дуга может быть обеспечена посредством газовой дуговой сварки с использованием исходного металла в качестве электрода. Согласно заявке, использование лазерного излучения в сочетании с газовой дуговой сваркой металлическим электродом стабилизирует дугу и предположительно обеспечивает более высокую скорость процесса. Согласно заявке, электродная проволока выходит из направляющей, которая задает электроду направление движения. Металл электродной проволоки плавится на ее конце, и расплавленный металл откладывается путем позиционирования конца проволоки на точке наплавления. Тепло необходимое для плавления электродной проволоки обеспечивается электрической дугой, которая развивается между концом электрода и заготовкой/подложкой для наплавления, а также лазером, который облучает область наплавления. Процесс

наваривания (наплавления) за счет плавления электродной проволоки, нагреваемой электрической дугой, известен как газовая дуговая сварка металлическим электродом (англ. Gas Metal Arc Welding, GMAW), которую в случае использования для образования дуги в инертном газе также называют сваркой металлическим электродом в инертном газе (англ. Metal Inert Gas, MIG).

Проблема, которую необходимо решить, это скорость нанесения материала на материал основы, чтобы сформировать изделие. Можно было бы увеличить температуру электродной проволоки, чтобы осуществить ее предварительный нагрев, прежде чем проволока начнет взаимодействовать с дугой горелки. Этого можно было бы добиться путем увеличения количества электричества, проходящего через электрод в единицу времени (т.е. силы тока), или путем изменения поперечного сечения электродной проволоки, чтобы увеличить резистивное нагревание электрода. Металл титан или титановые сплавы, нагретые выше 400°C, могут подвергаться окислению при контакте с кислородом. Таким образом, необходимо защищать сварочный шов и нагретый объект, который формируется путем послойного формирования, от кислорода окружающей атмосферы.

Однако, использование тока большой величины может создавать ряд проблем. Если изменение тока не контролировать, то может происходить быстрый перегрев электродной проволоки, что может приводить к переходу дуги с проволоки на токоподводящий наконечник. Такой переход может приводить к сплавлению электродной проволоки с токоподводящим наконечником, что потребовало бы замены токоподводящего наконечника. Использование тока большой величины также может вызывать разогрев самого токоподводящего наконечника, и может приводить к перегреву последнего. Одним из последствий перегрева токоподводящего наконечника может быть удлинение последнего. В зависимости от конфигурации токоподводящего наконечника такое удлинение может приводить к тому, что токоподводящий наконечник переместится ближе к электродной проволоке, что может увеличивать трение между токоподводящим наконечником и электродной проволокой, повреждать или царапать электродную проволоку. Изменение геометрии токоподводящего наконечника, вызванное перегревом, также может приводить к неравномерному износу токоподводящего наконечника в силу удлинения или неравномерности, вызванной нагреванием. Это может приводить к образованию электрической дуги внутри токоподводящего

наконечника. Перегрев токоподводящего наконечника также может приводить к образованию микропор в токоподводящем наконечнике, что может вызывать погрешности в работе сварочного аппарата.

Указанные проблемы, причиной которых является использование в токоподводящем наконечнике токов большой величины, могут приводить к необходимости частой замены токоподводящих наконечников, а в худшем случае к необходимости чистки сварочной аппаратуры. Замена токоподводящего наконечника и/или чистка аппаратуры требует остановки аппарата и остановки производства. Это требует больших затрат и отрицательно влияет на производительность.

В данной области техники также есть потребность в рентабельном способе осуществления непосредственного наплавления металла при увеличенной скорости наплавления. В данной области техники также существует потребность в аппарате, который позволяет увеличить производительность и производственный выход изделий, получаемых непосредственным наплавлением металла, без риска частых замен токоподводящего наконечника, вызываемых перегревом.

#### Сущность изобретения

Задача настоящего изобретения состоит в создании аппарата, который дает возможность увеличить производительность и производственный выход изделий, получаемых непосредственным наплавлением металла, без риска частых замен токоподводящего наконечника, вызываемых перегревом. Другая задача изобретения заключается в создании аппарата, который предназначен для получения изделий, изготовленных непосредственным наплавлением металла, и в котором можно использовать токи большой величины. Предлагаемый аппарат может работать с большими значениями электрического тока. К примеру, аппарат может работать с электрическими токами величиной 100 А, 200 А, 300 А, 350 А, 400 А или более. Предлагаемый аппарат также смягчает проблемы, связанные с тепловым расширением металлической проволоки и направляющей.

Другая задача изобретения заключается в создании способа для быстрого послыйного изготовления предметов из титана и титановых сплавов.

Настоящее изобретение решает вопрос, связанный с потребностью в усовершенствованном, рентабельном способе выполнения непосредственного наплавления металла. Изобретение также решает вопрос, связанный с потребностью в способе увеличения производительности и производственного выхода деталей, сформированных путем непосредственного наплавления металла с гладкими, четко определенными границами нанесения металла.

Другая задача и преимущество настоящего изобретения заключаются в том, что усовершенствование токоподводящего наконечника снижает остроту проблем, связанных с подачей металлической проволоки, и приводит к снижению трудозатрат и увеличению производительности. Следует отметить, что, хотя изобретение рассмотрено в аспекте использования металлической проволоки, может быть использована любая проводящая структура, которой можно задавать направление и которую можно расплавлять, чтобы наносить материал, например, может быть использован любой расходуемый электрод надлежащего размера и формы.

Аппарат, предложенный в изобретении, увеличивает скорость нанесения материала за счет подачи металлической проволоки в форме проволоки, использования сравнительно высоких значений электрического тока в металлической проволоке, и за счет охлаждения токоподводящего наконечника при помощи системы жидкостного охлаждения. Система жидкостного охлаждения содержит каналы охлаждения, встроенные в электрический контактный элемент или в направляющую, или в оба данных компонента. Каналы охлаждения могут быть расположены близко к той области, где протекает электрический ток. Согласно некоторым вариантам осуществления изобретения, каналы охлаждения расположены в достаточной близости к токоподводящему наконечнику, чтобы обеспечить быструю передачу тепловой энергии к каналам охлаждения.

В настоящем изобретении предложен узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением. Пример осуществления изобретения показан на фиг. 1. Узел 100 токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением может содержать направляющую 120 и электрический контактный элемент 200, который содержит токоподводящий наконечник 215, соединенный с источником электропитания посредством электрического соединителя 230. Согласно некоторым вариантам осуществления, узел 100 токоподводящего наконечника может содержать электрический контактный элемент 200 с жидкостным

охлаждением или направляющую 120 с жидкостным охлаждением, или оба указанных компонента: контактный элемент 200 с жидкостным охлаждением и направляющую 120 с жидкостным охлаждением.

Узел 100 токоподводящего наконечника может также содержать механизм 5 190 поджатия проволоки для поджатия металлической проволоки и приведения ее в контакт с токоподводящим наконечником 215. Механизм 190 поджатия проволоки может содержать изолированную головку 195, которая может быть приведена в контакт с металлической проволокой 180 за счет действия механизма 190, при этом изолированная головка 195 поджимает металлическую 10 проволоку и приводит ее в контакт с токоподводящим наконечником 215. Механизм 190 поджатия проволоки может быть выполнен из титана или титанового сплава, или может содержать титан или титановый сплав. Механизм 190 поджатия проволоки может быть соединен с электрическим контактным элементом 200, например, путем использования оси, которая позволяет 15 механизму поджатия проволоки свободно двигаться вокруг нее, так что механизм 190 поджатия проволоки может поджимать металлическую проволоку к токоподводящему наконечнику 215. Соединительная ось может быть изготовлена из или покрыта теплоизоляционным материалом, так чтобы механизм 190 поджатия проволоки был термически изолирован от электрического контактного 20 элемента 200. В системах, устройствах и способах, соответствующих настоящему изобретению, расходуемый токоподводящий наконечник 215 выполнен отдельно и отстоит от направляющей, при этом металлическая проволока вступает в контакт с токоподводящим наконечником после того, как металлическая проволока пройдет сквозь концевой участок направляющей.

25 Механизм 190 поджатия проволоки создает усилие, чтобы поджимать металлическую проволоку 180 и приводить ее в контакт с токоподводящим наконечником 215. Усилие в механизме 190 поджатия проволоки может быть создано за счет пружины, гидравлических, пневматических приводов, механизированных винтов или поршневого узла с двигателем, или любого 30 сочетания упомянутых компонентов. Согласно некоторым вариантам осуществления изобретения, пружина создает давление, которое вынуждает механизм 190 поджатия проволоки прижимать металлическую проволоку 180 и приводить ее в контакт с наконечником 215. Пружина может представлять собой пружину сжатия, пружину растяжения или пружину кручения. Механизм 190

поджатия проволоки может содержать множество пружин, каждая из которых может являться пружиной растяжения, пружиной сжатия или пружиной кручения.

Узел 100 токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением может содержать несущий элемент 350, к которому, как к опоре могут быть  
5 прикреплены направляющая 120 и электрический контактный элемент 200. Когда узел 100 токоподводящего наконечника содержит направляющую 120 с жидкостным охлаждением, несущий элемент 350 может быть выполнен так, чтобы патрубок 570 подачи теплоносителя, выполненный с возможностью соединения для сообщения по текучей среде с впускным участком 157 для  
10 теплоносителя направляющей, а также патрубок 580 отвода теплоносителя, выполненный с возможностью соединения для сообщения по текучей среде с выпускным участком 159 для теплоносителя направляющей. Несущий элемент 350 может быть термически изолирован от всех компонентов, которые крепятся к несущему элементу 350, путем постановки теплоизоляционного материала 560  
15 между несущим элементом и прикрепляемым компонентом, например, электрическим контактным элементом 200. Теплоизоляционный материал 560 обладает низкой теплопроводностью. Примерами материалов, которые могут служить в качестве теплоизоляционного материала, являются керамика и пластмасса.

Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением может  
20 содержать соединитель 450, прикрепленный к несущему элементу 350 посредством крепежного элемента 465. При помощи соединителя 450 к несущему элементу 350 может быть прикреплен источник 400 подачи металлической проволоки, при этом соединитель 450 может содержать отверстие 460 для  
25 размещения металлической проволоки. Металлическую проволоку подают к одному концу направляющей 120; проволока проходит сквозь направляющую 120 и выходит с другого конца направляющей 120, где она оказывается в плазменной дуге над точкой наплавления металла на изделие. Токоподводящий наконечник 215 может быть расположен так, чтобы он приходил в контакт с металлической  
30 проволокой в определенном месте относительно направляющей 120. Токоподводящий наконечник 215 может быть расположен так, чтобы он приходил в контакт с металлической проволокой после того, как последняя выйдет из конца направляющей 120. Токоподводящий наконечник 215 приводится в контакт с металлической проволокой в заданной точке контакта, которая не перемещается

в направлении подачи проволоки, что приводит к тому, что резистивному нагреву подвергается отрезок металлической проволоки постоянной длины.

Как показано на фиг. 2, электрический контактный элемент 200 может содержать систему охлаждения, которая содержит выпуск 225 для теплоносителя, входной канал 226 теплоносителя, соединенный и выполненный с возможностью сообщения по текучей среде с выпуском 225 для теплоносителя, выходной канал 227 теплоносителя, соединенный и выполненный с возможностью сообщения по текучей среде с входным каналом 226 теплоносителя, и выпуск 228 для теплоносителя, соединенный и выполненный с возможностью сообщения по текучей среде с выходным каналом 227 теплоносителя. Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением также содержит механизм 190 поджатия проволоки, расположенный ниже электрического контактного элемента 200, и выполненный с возможностью поджатия металлической проволоки 180 и приведения ее в контакт с токоподводящим наконечником 215 электрического контактного элемента 200.

Пример направляющей 120 узла токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением изображен на фиг. 3. Направляющая 120 содержит продольную центральную ось A-A', первый конец 140 и противоположный второй конец 150, а также центральное отверстие 130, проходящее вдоль продольной центральной оси направляющей 120 от первого конца 140 ко второму концу 150, через которое можно подавать металлическую проволоку 180. Направляющая 120 может содержать электроизоляционное покрытие 160, которое находится внутри центрального отверстия 130, и проходит сквозь направляющую по меньшей мере от ее первого конца 140 до второго конца 150. В изображенном варианте осуществления изобретения электроизоляционное покрытие 160 заходит за второй конец 150. Электроизоляционное покрытие 160 содержит направляющий канал 170, у которого имеется входное отверстие 145 у первого конца 140 и выходное отверстие 155 у второго конца 150; при этом направляющий канал проходит сквозь прямолинейное электроизоляционное покрытие 160 вдоль продольной центральной оси A-A', и задает направление металлической проволоке 180, которую пропускают через прямолинейный цилиндрический направляющий канал 170 от входного отверстия 145 к выходному отверстию 155, и далее выпускают из выходного отверстия 155. Входной канал 226 теплоносителя электрического контактного элемента 200

может быть выполнен так, чтобы вблизи токоподводящего наконечника 215 он образовывал множество соединенных друг с другом параллельных каналов. Эти каналы могут проходить параллельно токоподводящему наконечнику 215, как показано на фиг. 2, или могут быть расположены перпендикулярно токоподводящему наконечнику 215, или могут иметь любую ориентацию относительно плоскости токоподводящего наконечника 215. Соединенные друг с другом каналы образуют непрерывный тракт для охлаждающей жидкости через электрический контактный элемент 200, причем указанный тракт соединяет впуск 225 для теплоносителя с выпуском 228 для теплоносителя. Электрический контактный элемент 200 узла 100 токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением может быть выполнен так, чтобы он располагался над направляющей 120.

Согласно некоторым вариантам осуществления изобретения, узел 100 токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением содержит направляющую 120, которая оснащена системой охлаждения. Примеры вариантов осуществления изображены на фиг. 4А-4С. Система охлаждения может включать в себя впускной участок 157 для теплоносителя, выполненный с возможностью соединения для сообщения по текучей среде с входным каналом 135 теплоносителя, выходной канал 137 теплоносителя, соединенный и выполненный с возможностью сообщения по текучей среде с входным каналом 135 теплоносителя, и выпускной участок 159 для теплоносителя, соединенный и выполненный с возможностью сообщения по текучей среде с выходным каналом 137 теплоносителя. Впускной участок 157 для теплоносителя может быть соединен и может сообщаться по текучей среде с патрубком 570 подачи теплоносителя, а выпускной участок 159 для теплоносителя может быть соединен и может сообщаться по текучей среде с патрубком 580 отвода теплоносителя (см. фиг. 1).

В узле токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением, соответствующем настоящему изобретению, направляющая 120 может содержать нижнее отверстие 125 в ее нижней части, как показано на фиг. 4А-4С. Нижнее отверстие дает возможность пыли и частицам материала металлической проволоки выходить из направляющей 120, прежде чем они попадут в область близкую к формируемому изделию. Направляющая может быть выполнена из титана или титанового сплава или может содержать титан или титановый сплав,

или же может быть выполнена из меди или медного сплава или содержать медь или медный сплав. Электрический контактный элемент 200 и токоподводящий наконечник 215 каждый независимо может быть выполнен из меди или медного сплава или может содержать медь или медный сплав, или же может быть выполнен из композита, в частности из сплава или композита медь/вольфрам.

Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением, соответствующий настоящему изобретению, выполнен так, что после прохождения через направляющую 120 металлическая проволока 180 оказывается в плазменной дуге горелки плазменно-дуговой сварки ПДС (англ. Plasms Arc Welding, PAW) или в дуге плазмотрона (англ. Plasma Transferred Arc, PTA) над точкой нанесения материала на формируемое изделие.

В изобретении также предложены способы изготовления трехмерного изделия из металлического материала посредством технологии послойного формирования, в которых объект формируют путем взаимного сплавления последовательных слоев металлического материала, нанесенных на материал основы, отличающиеся тем, что в них используют узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением. В указанных способах материал основы, который является таким же материалом, из какого состоит изготавливаемый объект, покрывают последовательными слоями металлического материала, при этом каждый очередной слой получают, используя первую горелку ПДС.

Согласно предпочтительным вариантам осуществления изобретения, узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением используют вместе с системой, в которой используются две горелки ПДС. Вторая горелка ПДС может быть использована для предварительного нагревания материала основы, так, чтобы материал основы стал более восприимчивым к каплям металла от расплавленной металлической проволоки в том месте, на которое должен быть наложен расплавленный металлический материал. Согласно некоторым вариантам, за счет предварительного нагрева горелкой ПДС плавлению подвергается по меньшей мере участок материала основы, чтобы сделать материал основы более восприимчивым. Согласно некоторым вариантам, горелка ПДС, обеспечивающая предварительный нагрев, подает достаточное количество тепла, чтобы в материале основы образовалась лунка расплава в том месте, куда должен быть нанесен металлический материал.

Подачу металлической проволоки через узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением можно осуществлять так, чтобы дальний конец проволоки после выхода из узла токоподводящего наконечника оказывался над материалом основы, куда требуется наносить металлический материал. В

5 конструкциях, в которых материал основы подвергается предварительному нагреванию, дальний конец металлической проволоки после выхода из узла токоподводящего наконечника может быть расположен над областью предварительного нагрева материала основы, или даже над лункой расплава в материале основы, если таковая создается. Горелку ПДС часто используют для

10 нагревания и расплавления металлической проволоки, так чтобы расплавленный материал металлической проволоки каплями падал на материал основы, или на предварительно нагретую или частично расплавленную область материала основы, если выполнялось предварительное нагревание. Материал основы и/или одну или более горелок ПДС можно перемещать по определенной схеме, так

15 чтобы слои расплавленного материала металлической проволоки последовательно накладывались на материал основы, затвердевали и образовывали трехмерное изделие.

В изобретении также предложены способы изготовления трехмерного изделия из металлического материала посредством технологии послойного

20 формирования, которые содержат операции последовательного нанесения слоев металлического материала на материал основы. Каждый очередной слой получают, подавая металлическую проволоку через направляющую в электрический контактный элемент с жидкостным охлаждением, который передает в металлическую проволоку электрический ток силой по меньшей мере

25 100 А, и используя первую горелку ПДС для нагревания и плавления проволоки, так что расплавленный металлический материал каплями падает на материал основы. Схему нанесения слоев задают, перемещая по меньшей мере один из компонентов: материал основы и первую горелку ПДС, так чтобы последовательные слои расплавленного материала от металлической проволоки

30 затвердевали и образовывали трехмерный объект. Материал основы можно предварительно нагревать в том месте, на которое должен быть нанесен металлический материал. Предварительный нагрев выполняют посредством второй горелки ПДС. Схема нанесения слоев также может быть задана путем перемещения по меньшей мере одного из следующих компонентов: материала,

основы, первой горелки ПДС, и второй горелки ПДС, так чтобы последовательные слои расплавленного материала от металлической проволоки затвердевали и образовывали трехмерный объект. В предлагаемых способах электрический контактный элемент содержит систему охлаждения, которая может  
5 содержать впуск для теплоносителя, выполненный с возможностью соединения для сообщения по текучей среде с патрубком подачи теплоносителя; входной канал для теплоносителя, соединенный и выполненный с возможностью сообщения по текучей среде с впуском для теплоносителя; выходной канал теплоносителя, соединенный и выполненный с возможностью сообщения по  
10 текучей среде с входным каналом теплоносителя; и выпуск для теплоносителя, соединенный и выполненный с возможностью сообщения по текучей среде с выходным каналом теплоносителя.

В способах, соответствующих настоящему изобретению, направляющая может содержать систему охлаждения, содержащую впускной участок для  
15 теплоносителя, выполненный с возможностью соединения для сообщения по текучей среде с патрубком подачи теплоносителя; входной канал теплоносителя, соединенный и выполненный с возможностью сообщения по текучей среде с впускным участком для теплоносителя; выходной канал теплоносителя, соединенный и выполненный с возможностью сообщения по текучей среде с  
20 входным каналом теплоносителя; и выпускной участок для теплоносителя, соединенный и выполненный с возможностью сообщения по текучей среде с выходным каналом теплоносителя. Металлическая проволока может быть изготовлена из или может содержать Al, Cr, Cu, Fe, Hf, Sn, Mn, Mo, Ni, Nb, Si, Ta, Ti, V, W или Zr, или композиты или сплавы указанных веществ. Согласно  
25 некоторым вариантам осуществления изобретения, металлическая проволока представляет собой проволоку, которая содержит титан или титановый сплав или никель или никелевый сплав.

В изобретении также предложены системы для изготовления трехмерного объекта из металлического материала посредством технологии послойного  
30 формирования. Система может содержать направляющую с жидкостным охлаждением для подведения металлической проволоки в положение над материалом основы; электрический контактный элемент с жидкостным охлаждением, находящийся в контакте с металлической проволокой, для подведения тока величиной по меньшей мере 100 А к металлической проволоке;

первую сварочную горелку для расплавления металлической проволоки, чтобы вынудить металлический материал каплями падать на материал основы, и компьютерную модель подлежащего изготовлению объекта для задания профиля наложения слоев, так чтобы построение физического объекта происходило путем последовательного наплавления слоев металлического материала на материал основы. Система может также содержать платформу привода, которая выполнена с возможностью перемещения материала основы относительно по меньшей мере указанной сварочной горелки. Система может также содержать рычаг привода, который выполнен с возможностью перемещения первой сварочной горелки. Система может дополнительно содержать вторую сварочную горелку для предварительного нагревания материала основы в области, куда должно происходить наложение металлического материала. Система может также содержать рычаг привода, который выполнен с возможностью перемещения второй сварочной горелки.

Дополнительные отличительные признаки и преимущества изобретения будут сформулированы в последующем описании; они частично будут очевидны из описания, или их можно будет уяснить путем реализации изобретения. Задачи и другие преимущества изобретения будут решены или реализованы посредством конструкции, на которую указывает описание и формула изобретения, а также прилагаемые чертежи.

Следует понимать, что как последующее общее описание, так и подробное описание являются примерами и служат целям объяснения изобретения дополнительно к формуле изобретения.

#### Перечень фигур, чертежей

Прилагаемые чертежи, которые включены, чтобы обеспечить дополнительное понимание изобретения, составляют часть данного описания, иллюстрируют варианты осуществления изобретения, и вместе с описанием служат целям объяснения принципов изобретения. Для наглядности чертежи выполнены не в масштабе, при этом некоторые компоненты опущены.

На чертежах:

фиг. 1 в аксонометрии изображает вариант осуществления узла токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением, соответствующего настоящему изобретению,

фиг. 2 схематически изображает пример электрического контактного элемента с жидкостным охлаждением, являющегося частью узла токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением, соответствующего настоящему изобретению,

5           фиг. 3 схематически изображает пример конструкции направляющей 120.

Фиг. 4А-4С изображают примеры конструкции направляющей с жидкостным охлаждением. На фиг. 4А изображен пример направляющей 120, содержащей тракт для охлаждающей жидкости. Фиг. 4В представляет вид сверху варианта конструкции, в которой охлаждающая жидкость циркулирует по периферии направляющей 120. Фиг. 4С изображает в разрезе направляющую 10       120 для проволоки, содержащую входной канал 135 теплоносителя и выходной канал 137 теплоносителя.

#### Сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения

15

#### А. ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Если не определено иное, то все технические и научные термины, использованные в настоящем описании, имеют то же значение, какое повсеместно должно быть понятным для специалистов в той области, к какой относится изобретение. Все патенты, патентные заявки, опубликованные заявки, 20       а также публикации, вебсайты и другие опубликованные материалы, на которые повсеместно в описании сделаны ссылки, если не отмечено иное, целиком включены в изобретение посредством ссылок. В случае, если существует несколько определений для терминов, применяемых в описании, приоритет 25       имеют те, которые используются в настоящем разделе. Если ссылка сделана на URL или иной такой же идентификатор или адрес, то следует понимать, что такие идентификаторы могут изменяться, и конкретная информация в сети Интернет может появляться и исчезать, но путем поиска в сети Интернет может быть найдена эквивалентная информация. Ссылки на такую информацию 30       свидетельствуют о наличии и широком распространении такой информации.

Использованные в данном описании существительные, указанные в единственном числе, включают в себя и множественное число, если контекст явным образом не указывает на иное.

В данном тексте в отношении диапазонов и количеств может использоваться наречие «приблизительно». При этом термин «приблизительно» включает в себя и самое точное значение. Поэтому «приблизительно 5%» означает «около 5%» и также «5%». «Приблизительно» также означает «в пределах типичной ошибки эксперимента» для предполагаемого случая применения или назначения.

В том смысле, в каком они использованы в данном описании, термины первый, второй, третий и т.п. могут применяться для описания различных элементов, компонентов, областей, слоев и/или участков, причем на такие элементы, компоненты, области, слои и/или участки указанные термины не должны накладывать ограничение. Данные термины могут быть использованы только чтобы отличать один элемент, компонент, область, слой и/или участок от другой области, слоя или участка. Термины «первый», «второй» и другие числовые термины, при использовании в настоящем описании не подразумевают какую-либо очередность или порядок, если на это явным образом не указывает контекст. Таким образом, первый элемент, компонент, область, слой и/или участок, который будет обсуждаться ниже, мог бы быть назван вторым элементом, компонентом, областью, слоем и/или участком, и при этом рассуждения не выходили бы за границы замысла, содержащегося в примерах вариантов осуществления изобретения.

В том смысле, в каком они использованы в настоящем описании, термины «опциональный» или «опционально», означает, что событие или обстоятельство, которое будет далее описано, имеет место или не имеет места, и что описание включает в себя случаи, когда событие или обстоятельство имеет место или не имеет места. Например, «опциональный» компонент в системе может в этой системе присутствовать или отсутствовать.

В том смысле, в каком он использован в данном описании, термин «токоподводящий наконечник» относится к элементу, который электрически присоединяет металлическую проволоку при операции сварки металлическим электродом в инертном газе (англ. MIG-welding, Metal Inert Gas Welding).

В том смысле, в каком он использован в данном описании, термин «сочетание; комбинация» относится к любому объединению двух или более элементов. Такое объединение может быть в пространстве или может относиться к использованию двух или более элементов с общей целью.

Термин «плазмотрон» (англ. PTA torch, Plasma Transferred Arc Torch) в настоящем описании использован взаимозаменяемо и относится к любому устройству, которое обладает способностью нагревать и возбуждать поток инертного газа до состояния плазмы за счет электрического дугового разряда, и  
5 затем передавать поток плазмообразующего газа, включая электрическую дугу, наружу через отверстие (такое, как сопло), чтобы сформировать сжатую струю, которая выходит из отверстия и переносит интенсивное тепло дуги в ограниченную целевую область. Электрод и целевая область могут быть электрически соединены с источником питания постоянного тока, так что  
10 электрод плазменной горелки становится катодом, а целевая область становится анодом. Благодаря этому обеспечивается, что плазменная струя, включающая электрическую дугу, доставляет высококонцентрированный поток тепла к небольшой площади поверхности целевой области при высоком уровне контроля локального распределения и величины теплового потока, подаваемого от  
15 плазменной горелки. Плазменная дуга прямого действия (англ. plasma transferred arc) обладает преимуществом, заключающимся в обеспечении стабильной и однородной дуги с малым блужданием и хорошей способностью переносить изменение расстояния между катодом и анодом. Таким образом, плазменная горелка с дугой прямого действия (плазмотрон) является пригодной и для  
20 нагревания материала основы, например, чтобы расплавлять по меньшей мере часть материала основы и образовывать лунку расплава в материале основы, а также для нагревания и плавления подаваемой металлической проволоки. В предпочтительном варианте плазмотрон может содержать электрод, выполненный из вольфрама и сопло, выполненное из меди. Однако, изобретение  
25 не привязано к какому-либо конкретному выбору или типу плазменной горелки. Может быть использовано любое известное или возможное устройство, способное функционировать в качестве плазменной горелки с дугой прямого действия, обеспечивающей стабильный источник тепла для плавления металлической электродной проволоки.

30 В том смысле, в каком он использован в данном описании, термин «горелка плазменно-дуговой сварки, горелка ПДС» (англ. PAW torch, Plasma Arc Welding Torch) относится к сварочной горелке, которую можно использовать для плазменно-дуговой сварки. Данная горелка рассчитана так, что газ может быть нагрет до высокой температуры, чтобы образовалась плазма и газ стал

электропроводящим; плазма затем переносит электрическую дугу на обрабатываемое изделие, при этом интенсивное тепло от дуги может плавить металл и/или сплавлять два куска металла вместе. Горелка ПДС может содержать сопло для сжатия дуги и тем самым увеличения плотности энергии дуги. Плазмообразующим газом обычно является аргон. Плазмообразующий газ можно подавать вдоль электрода, при этом вблизи катода может происходить ионизация газа и увеличение его скорости. Такую дугу можно направлять на обрабатываемое изделие, и она будет более стабильной, чем свободно горящая дуга (такая как у горелки TIG). У горелки ПДС также обычно имеется внешнее сопло для подачи защитного газа. Защитным газом может служить аргон, гелий или их смесь, при этом защитный газ помогает минимизировать окисление расплавленного металла. Величина тока в типичном случае доходит до 400 А, а напряжение обычно находится в интервале приблизительно 25-35 В (но может доходить и приблизительно до 14 кВ). К разновидности горелок ПДС относятся и плазмотроны.

Термин «металлический материал» в том смысле, в каком он используется в настоящем описании, относится к любому известному или возможному металлу, или металлическому сплаву, который может быть выполнен в виде проволоки, и использован в процессе изготовления твердого тела посредством технологии послойного формирования с целью изготовления трехмерного объекта. Примерами подходящих материалов помимо других возможных являются титан и титановые сплавы, такие как Ti-6Al-4V, никель и никелевые сплавы, а также другие металлы и сплавы металлов

Термин «материал основы» в том смысле, в каком он используется в настоящем описании, относится к целевому материалу, на который должен быть наплавлен металлический материал. При наплавлении первого слоя металлического материала материалом основы будет служить несущая подложка. Когда на несущую подложку будут наплавлены один или более слоев металлического материала, материалом основы будет служить верхний слой наплавленного металлического материала, чтобы на него наплавливать новый слой металлического материала.

Термин «несущая подложка» в том смысле, в каком он используется в настоящем описании, относится к базовой подложке, которую вначале загружают в камеры, и на которую наплавливают добавочный материал (такой же как

материал несущей подложки или отличный от несущей подложки), используя технологию изготовления предметов произвольной формы, с целью получения изделия. Согласно примерам осуществления изобретения, несущая подложка представляет собой плоский лист. В других вариантах осуществления несущей подложкой может служить штампованная деталь. В каких-то еще вариантах несущей подложкой может служить предмет, на который должен быть наплавлен добавочный материал. Согласно примерам, несущая подложка может становиться частью изделия. Материалом для несущей подложки может служить металл или металлический сплав. Согласно примерам осуществления изобретения, несущая подложка выполнена из того же материала, что и исходный материал проволоки.

Термин «изделие» в том смысле, в каком он используется в настоящем описании, относится к металлическому телу, которое изготавливают посредством технологии послойного формирования.

Термин «модель из системы автоматизированного проектирования» (англ. CAD-model, Computer Aided Design Model) в том смысле, в каком он взаимозаменяемо используется в настоящем описании, относится к любому известному или возможному трехмерному представлению подлежащего изготовлению объекта, которое может быть использовано в системе управления комплекса в соответствии с изобретением в его втором аспекте: регулированием положения и перемещением несущей подложки и приведением в действие сварочной горелки с встроенным механизмом подачи проволоки, так чтобы построение физического объекта происходило путем последовательного наплавления слоев металлического материала на несущую подложку или материал основы по такой схеме, которая приводит к формированию физического объекта в соответствии с виртуальной трехмерной моделью объекта. Этого можно добиться, например, создавая виртуальную векторизованную послойную модель трехмерного объекта, вначале путем разбиения виртуальной трехмерной модели на множество виртуальных параллельных горизонтальных слоев, а затем путем разбиения каждого из параллельных слоев на множество виртуальных квазиодномерных элементов. Затем физический объект может быть сформирован путем приведения в действие системы управления для нанесения и наплавления рядов квазиодномерных элементов подаваемого металлического материала на несущую подложку согласно схеме, соответствующей первому

слою виртуальной векторизованной послойной модели объекта. Затем указанную очередность повторяют для второго слоя объекта, нанося и наплавляя ряды квазиодномерных элементов свариваемого материала на ранее нанесенный слой согласно схеме, соответствующей второму слою виртуальной векторизованной послойной модели объекта. Наплавление продолжают, повторяя операции нанесения и наплавления слой за слоем для каждого очередного слоя виртуальной векторизованной послойной модели объекта, пока не будет сформирован весь объект.

Однако, изобретение не привязано ни к какой конкретной модели CAD и/или компьютерной программе для приведения в действие системы управления комплекса в соответствии с изобретением, и также изобретение не привязано ни к какому конкретному типу системы управления. Могут быть использованы любые известные или возможные системы управления (модель CAD, автоматизированная система или программа управления производством (англ. CAM, Computer-Aided Manufacture), компьютерная программа, компьютерные аппаратные средства с приводами и т.п.), способные изготавливать металлические трехмерные объекты посредством технологии послойного формирования. Согласно примерам осуществления изобретения, система управления может быть настроена так, чтобы по-отдельности приводить в действие первую горелку ПДС для предварительного нагрева материала основы, и вторую горелку ПДС для плавления проволоки подаваемого металлического материала в лунку расплава. Первая горелка ПДС может обеспечивать энергию достаточную для предварительного нагрева материала основы, так чтобы он мог принимать капли расплавленного металла проволоки, т.е. расплавленного металлического материала в точке, где должен быть нанесен расплавленный металлический материал. Предварительное нагревание материала основы может обеспечить адекватное сплавление материала основы с металлическим материалом, поступающим в виде капель от расплавленной металлической проволоки. Первая горелка ПДС способствует сплавлению материала основы с расплавленным металлическим материалом за счет заглубления области плавления в материал основы. Согласно некоторым вариантам осуществления, предварительный нагрев не расплавляет материал основы. Согласно другим вариантам, первая горелка ПДС расплавляет по меньшей мере часть материала основы, чтобы сделать материал основы более восприимчивым. Согласно

некоторым вариантам, первая горелка ПДС доставляет достаточно тепловой энергии, чтобы образовалась лунка расплава в материале основы в том месте, на которое должен быть наплавлен металлический материал.

Позиционирование материала основы и любой одной или более горелок ПДС может быть осуществлено путем использования одного или более приводов. Согласно примерам осуществления изобретения, материал основы можно перемещать, используя платформу с приводом, на которой покоится материал основы. Платформа с приводом может перемещать материал основы в любом направлении. Согласно примерам осуществления изобретения, платформа с приводом может быть установлена на систему направляющих или рельсов, и может быть способна перемещать материал основы в любом требуемом направлении. Как вариант, платформу с приводом можно приводить в действие механической рукой-манипулятором или рукой робота. Приводом также можно управлять посредством гидравлики. Аналогично, одну или более горелок ПДС можно приводить в движение посредством одного или более приводов. Например, каждая из таких горелок ПДС может быть присоединена к независимо управляемому рычагу привода, такому как механическая рука-манипулятор или рука робота. Этими приводами также можно управлять, используя гидравлику. Для осуществления руки-манипулятора могут также быть использованы другие типы механизмов, например, системы рельсов или направляющих. Согласно примерам осуществления изобретения, в которых используются две или более горелок ПДС, каждую горелку ПДС можно перемещать независимо. В иных конструкциях, где используются две или более горелок ПДС, положение двух или более горелок может быть зафиксировано друг относительно друга, при этом одна или более рук-манипуляторов могут одновременно перемещать указанные две или более горелок ПДС. Согласно примерам осуществления, платформа является единственным устройством, где используется привод, а указанные одна или более горелок ПДС удерживаются в неподвижном положении во время наплавления материала. В иных вариантах платформа с приводом перемещает материал основы только в двух направлениях в одной плоскости, в то время как одна или более рук-манипуляторов перемещают одну или более горелок ПДС только в одном направлении, например, перпендикулярно плоскости, в которой перемещается платформа с приводом. Законным может быть также и обратное решение, при котором одна или более рук-манипуляторов перемещают одну или

более горелок ПДС в двух направлениях в одной плоскости, в то время как платформа с приводом перемещает материал основы вдоль одного единственного направления. В иных вариантах материал основы в ходе наплавления поддерживают в фиксированном положении, а одну или более рук-  
5 манипуляторов используют для перемещения одной или более горелок ПДС. Согласно еще одному варианту, платформу с приводом и одну или более рук-манипуляторов все используют для перемещения материала основы и одной или более горелок ПДС.

#### 10 В. УЗЕЛ ТОКОПОДВОДЯЩЕГО НАКОНЕЧНИКА С ЖИДКОСТНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

В настоящем изобретении предложен узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением. Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением дает возможность увеличить производительность и  
15 производственный выход изделий, изготовленных путем непосредственного наплавления металла, без риска частой замены токоподводящего наконечника по причине перегрева. Благодаря тому, что в узле токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением осуществляется отвод тепловой энергии от области близкой к токоподводящему наконечнику, могут быть использованы более  
20 высокие значения электрического тока, чем в традиционном токоподводящем наконечнике, что может в результате дать увеличение скорости изготовления изделий, получаемых путем наплавления металла, благодаря наплавлению большего количества металла из металлической проволоки на материал основы, и более быстрому формированию изделия. В контактном элементе с жидкостным  
25 охлаждением можно использовать электрический ток большой величины. Например, может быть использован электрический ток величиной 350 А, 375 А или 400 А или более. Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением может содержать электрический контактный элемент, содержащий каналы, выполненные с возможностью пропускания охлаждающей жидкости  
30 через электрический контактный элемент для отвода тепловой энергии от него. Жидкостные каналы электрического контактного элемента могут быть выполнены так, чтобы они проходили вблизи токоподводящего наконечника, и отводили тепловую энергию от области близкой к токоподводящему наконечнику. Такое построение каналов охлаждения позволяет отводить любую излишнюю тепловую

энергию от области близкой к токоподводящему наконечнику, и может препятствовать тепловому расширению токоподводящего наконечника. В системах, устройствах и способах, предлагаемых в настоящем изобретении, расходуемый токоподводящий наконечник является отдельной деталью и отстоит от направляющей, при этом металлическая проволока приводится в контакт с токоподводящим наконечником после того, как проволока будет пропущена через концевой участок направляющей.

Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением может также содержать направляющую с жидкостным охлаждением. Направляющая содержит центральное отверстие, которое проходит вдоль центральной продольной оси направляющей, и через которое может проходить металлическая проволока. Направляющую располагают ниже электрического контактного элемента, при этом металлическая проволока входит в один конец направляющей, проходит через направляющую, и выходит с другого конца направляющей, где она оказывается в плазменной дуге плазмотрона над точкой наплавления металла на изделие. Направляющая может содержать тракт для охлаждающей жидкости. Тракт для охлаждающей жидкости содержит впуск для теплоносителя направляющей, который соединено и сообщается по текучей среде с каналом для теплоносителя, проходящим сквозь направляющую и дает возможность охлаждающей жидкости проходить через направляющую для поглощения тепловой энергии от электрического контактного элемента, с которым направляющая находится в тепловом контакте. Каналы теплоносителя могут быть построены так, чтобы они находились внутри направляющей. Например, каналы теплоносителя могут быть расположены так, чтобы они пересекали верхнюю часть направляющей, которая находится в контакте по меньшей мере с частью электрического контактного элемента. Каналы теплоносителя также могут быть расположены на краю направляющей.

На фиг. 1 изображен пример осуществления узла 100 токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением. В изображенной конструкции узел токоподводящего наконечника содержит направляющую 120, электрический контактный элемент 200 и механизм 190 поджатия проволоки. Электрический контактный элемент 200 может быть соединен с несущим элементом 350. Электрический контактный элемент 200 может быть термически изолирован от несущего элемента 350 путем использования теплоизоляционного материала 560

в области контакта между электрическим контактным элементом 200 и несущим элементом 350. Теплоизоляционный материал 560 может быть выбран так, чтобы он обладал низкой теплопроводностью. Примеры материалов, которые могут быть использованы в качестве теплоизоляционного материала 560, включают в себя керамику и пластмассы. К примерам керамики относятся оксиды и нитриды Al, B, Zr, Mg, Y, Ca, Si, Ce, In и Sn, а также их сочетания (см. например, патенты США 6344287; 4540879; и 7892597).

Электрический контактный элемент 200 содержит токоподводящий наконечник 215, впуск 225 для теплоносителя и выпуск 228 для теплоносителя. Впуск 225 для теплоносителя и выпуск 228 для теплоносителя сообщаются по текучей среде через каналы теплоносителя (см. фиг. 2), которые находятся внутри электрического контактного элемента 200, и дают возможность охлаждающей жидкости проходить от впуска 225 для теплоносителя сквозь электрический контактный элемент 200, в частности в ближней зоне токоподводящего наконечника 215, а после поглощения тепловой энергии выходить из электрического контактного элемента 200 через выпуск 228 для теплоносителя.

Размер электрического контактного элемента 200 позволяет использовать более высокие значения токов через контактный элемент 200 и токоподводящий наконечник 215. Электрический контактный элемент 200 может быть выполнен из меди, медного сплава, титана или титанового сплава. Заменяемый токоподводящий наконечник 215 может быть выполнен из меди, или медного сплава или композита. Медный сплав может содержать медь любого сорта по ASTM кл. 2-10. Медный сплав или композит может включать в себя медь в комбинации с Ag, Al, Be, Bo, Cr, In, Mg, Ni, Sn, Sr, W, Zn или Zr или с сочетанием указанных элементов. В частности, токоподводящий наконечник 215 может включать в себя сочетание меди и вольфрама, например, может представлять собой композит в виде спеченных меди/вольфрама. Электрический контактный элемент 200 содержит электрический соединитель 230 для подвода питания к токоподводящему наконечнику 215. Электрический соединитель 230 дает возможность присоединить токоподводящий наконечник 215 к источнику питания постоянного тока, так что, когда токоподводящий наконечник 215 приводят в контакт с металлической проволокой, металлическая проволока становится

анодом. Электрод плазмотрона присоединяют к источнику постоянного тока так, что плазмотрон становится катодом.

Фиг. 2 изображает пример варианта осуществления электрического контактного элемента 200. На фиг. 2 и 5 показан тракт для охлаждающей жидкости, содержащий впуск 225 для теплоносителя, входной канал 226 теплоносителя, который пересекает электрический контактный элемент 200, и дает возможность теплоносителю проходить от впуска 225 для теплоносителя к области вблизи токоподводящего наконечника 215, и выходной канал 227 теплоносителя, который дает возможность нагретому теплоносителю выходить из электрического контактного элемента 200 через выпуск 228 для теплоносителя. При работе жидкое охлаждающее вещество проходит через входной канал 226 теплоносителя, который работает в качестве теплообменника. Жидкий теплоноситель поглощает тепловую энергию от электрического контактного элемента 200. В конкретных вариантах осуществления изобретения входной канал 226 теплоносителя может проходить до зоны вблизи токоподводящего наконечника 215, поглощая тепловую энергию от токоподводящего наконечника 215. Каналы охлаждения в электрическом контактном элементе 200 могут быть выполнены так, чтобы максимально увеличить отбор тепла от токоподводящего наконечника 215. Чтобы облегчить поглощение или передачу тепловой энергии, поверхность входного канала 226 теплоносителя может быть оснащена выступами, например, иглами, ребрами или иными подобными элементами, которые наряду с другими факторами могут увеличить поверхность контакта между охлаждающей жидкостью и стенками входного канала 226 теплоносителя.

Хотя входной канал 226 теплоносителя на фиг. 2 показан так, как если бы он состоял из одного слоя каналов, параллельных токоподводящему наконечнику 215, для охлаждения электрического контактного элемента 200 могут быть использованы и другие конфигурации: например, дугообразные каналы, которые проходят через область выше токоподводящего наконечника 215, или группа каналов, которые проходят по длине электрического контактного элемента 200, или группа слоев входных каналов 226 теплоносителя, или входные каналы теплоносителя, которые расположены на периферии электрического контактного элемента 200, или сочетания этих вариантов.

Может быть использована любая охлаждающая жидкость, подходящая для температур, которые могут встретиться внутри электрического контактного элемента. Примером охлаждающей жидкости может служить вода, C<sub>1</sub>-C<sub>5</sub> спирт, полиальфаолефин, алкиленгликоль такой, как этиленгликоль или пропиленгликоль или смеси указанных веществ. Согласно некоторым вариантам осуществления, охлаждающей жидкостью является вода, смесь воды с пропиленгликолем или смесь воды с этиленгликолем. Охлаждающая жидкость может включать присадки, такие как соли, ингибиторы коррозии, регуляторы pH или сочетания таких веществ.

Узел 100 токоподводящего наконечника также содержит направляющую 120. Пример направляющей изображен на фиг. 3. Направляющая 120 может содержать продольную центральную ось A-A', первый конец 140, противоположный второй конец 150, и центральное отверстие 130, проходящее вдоль продольной центральной оси направляющей 120 от ее первого конца 140 до второго конца 150.

Как показано на фиг. 1, направляющая 120 в общем расположена ниже электрического контактного элемента 200, однако электрический контактный элемент 200 может быть выполнен так, чтобы направляющая 120 была расположена выше электрического контактного элемента 200. Металлическая проволока (на фиг. 1 не показана) входит в направляющую 120 с одного конца, проходит через направляющую 120 и выходит из направляющей 120 с другого конца, где она оказывается в плазменной дуге горелки ПДС над точкой наплавления металла на изделие.

Направляющая 120 может иметь любую другую форму, при условии, что ее конструкция позволяет принимать металлическую проволоку и дает возможность металлической проволоке проходить через направляющую без помех. Согласно некоторым вариантам осуществления, направляющая 120 может в целом иметь цилиндрическую форму, чтобы в ней могла разместиться металлическая проволока по существу кругового поперечного сечения, как показано на фиг. 4А. Поперечное сечение наружной части направляющей 120 может иметь форму круга, овала, эллипса или многоугольника, например, квадрата, треугольника, четырехугольника, пятиугольника, шестиугольника, восьмиугольника или может заключать в себе любое сочетание указанных форм.

Направляющая может содержать выступы или выдающиеся части на своей наружной поверхности, например, для центровки направляющей или для крепления направляющей к опоре или иным элементам, или для сцепления с электрическим контактным элементом 200, и/или чтобы направить электрический контактный элемент 200 относительно направляющей 120. Например, варианты осуществления, показанные на фиг. 4А и 4В, содержат крепежный выступ 122, который позволяет прикрепить направляющую 120 к опоре.

Направляющая 120 может содержать нижнее отверстие 125, которое дает возможность пыли или частицам материала металлической проволоки выходить из направляющей 120, прежде чем они попадут в область вблизи формируемого изделия. Нижнее отверстие 125 может проходить до конца направляющей 120. Направляющая 120 может иметь усеченную форму, так чтобы металлическая проволока 180 выходила из выходного отверстия 155, не опираясь ни на что, как показано на фиг. 3. Как показано на фиг. 1, изолированная головка 195 механизма 190 поджатия проволоки поджимает металлическую проволоку 180 и приводит ее в контакт с токоподводящим наконечником 215.

Направляющая 120 может содержать электроизоляционное покрытие 160, которое может отделять по меньшей мере часть направляющей 120 от металлической проволоки. Не обязательно, чтобы электроизоляционное покрытие полностью окружало металлическую проволоку 180. Например, часть нижней области электроизоляционного покрытия 160 может быть убрана. Например, может быть убран дуговой сегмент электроизоляционного покрытия, стягивающий угол, измеренный от горизонтального диаметра, величиной приблизительно от  $10^\circ$  до  $180^\circ$ . Когда электроизоляционное покрытие имеет круговое поперечное сечение, удаление дугового сегмента, стягивающего угол  $180^\circ$ , приводит к тому, что остается полукруглое электроизоляционное покрытие, закрывающее верхнюю часть металлической проволоки 180.

Направляющая может быть электрически изолирована от металлической проволоки путем использования электроизоляционного покрытия, содержащего электроизоляционный материал, пригодный для применения в условиях, в которых направляющая будет находиться в ходе процесса сварки. Электроизоляционный материал может представлять собой 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 или их комбинации. Электроизоляционный материал может представлять собой или может содержать нитрид алюминия, оксид алюминия, нитрид магния, оксид магния, кварц, нитрид кремния, нитрид бора, диоксид циркония, а также смеси и сочетания указанных вариантов.

5 Электроизоляционное покрытие может быть выполнено так, чтобы оно помещалось внутри направляющей. Электроизоляционное покрытие может быть выполнено так, чтобы оно выступало с одного конца или с обоих концов направляющей.

Когда электроизоляционное покрытие вблизи центрального отверстия,  
10 через которое проходит металлическая проволока, содержит изоляционную керамику, поверхность изоляционной керамики может быть обработана для уменьшения шероховатости поверхности керамики, которая изолирует металлическую проволоку. Обработка поверхности может способствовать минимизации или исключению царапин или задиров металлической проволоки,  
15 когда последняя проходит сквозь электроизоляционное покрытие. К примеру, поверхность электроизоляционного покрытия 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  
20 лазерное гляцевание, чтобы уменьшить трение и получить более гладкую поверхность изоляционной керамики. Поверхность электроизоляционного покрытия может быть обработана, чтобы получить алмазоподобное углеродное покрытие. Для снижения трения на поверхность электроизоляционного покрытия может быть нанесен тефлон (англ. PTFE, polytetrafluoroethylene). Обработка  
25 поверхности может способствовать минимизации образования мелких частиц металлической проволоки, которые могут образовываться в силу взаимодействия металлической проволоки с шероховатой поверхностью изоляционной керамики.

Направляющая 120 может быть термически изолирована от несущего элемента 350 посредством теплоизоляционного материала 560, размещенного  
30 между точками контакта направляющей 120 с несущим элементом 350. В качестве теплоизоляционного материала 560 могут быть использованы такие материалы, например, как керамика и пластмассы.

Направляющая 120 может содержать тракт для охлаждающей жидкости. Тракт для охлаждающей жидкости может минимизировать или исключить

тепловое расширение металлической проволоки внутри направляющей 120, которое могло быть вызвано большим током через токоподводящий наконечник 215. Тракт для охлаждающей жидкости может минимизировать или исключить тепловое расширение самой направляющей 120. Тепловое расширение направляющей 120 могло бы приводить к увеличению трения между направляющей и металлической проволокой, к повреждению или царапинам электрода, что вызывало бы смещение металлической проволоки и нарушение правильного позиционирования проволоки в дуге. Изменения геометрии направляющей 120, вызванные перегревом, могут также приводить к неравномерному контактному износу, из-за удлинения или неравномерности, которые вызваны нагревом. Перегрев направляющей 120 может также приводить к образованию деформаций, микропор или усталостных явлений в направляющей 120, что может вызывать выход направляющей 102 из строя.

Пример осуществления направляющей приведен на фиг. 4А. Согласно данному варианту осуществления, тракт для охлаждающей жидкости содержит впускной участок 157 для теплоносителя направляющей, который соединен и имеет сообщается по текучей среде с входным каналом 135 теплоносителя, который пересекает направляющую 120 и позволяет охлаждающей жидкости проходить сквозь направляющую 120, чтобы поглощать тепловую энергию от электрического контактного элемента 200, с которым направляющая 120 находится в тепловом контакте. В показанном варианте осуществления входной канал 135 теплоносителя проходит через верхнюю часть направляющей 120, которая контактирует по меньшей мере с частью электрического контактного элемента 200. После поглощения тепловой энергии охлаждающая жидкость проходит через выходной канал 137 теплоносителя к выпускному участку 159 для теплоносителя направляющей, чтобы выйти из направляющей 120.

Другой вариант осуществления изображен на фиг. 4В и 4С. В изображенных вариантах впускной участок 157 для теплоносителя направляющей соединен и имеет жидкостную связь с входным каналом 135 теплоносителя, который расположен на краю направляющей 120. После поглощения тепловой энергии охлаждающая жидкость проходит через выходной канал 137 теплоносителя, который расположен на другом краю направляющей 120, и выходит из направляющей 120 через выпускной участок 159 для теплоносителя направляющей.

Хотя на фиг. 4А показано, что входной канал 135 теплоносителя содержит один слой каналов, параллельных верхней поверхности направляющей 120, для охлаждения направляющей 120 могут быть использованы другие схемы каналов, например, в виде каналов, расположенных перпендикулярно верхней поверхности направляющей 120, или в виде множества каналов, которые проходят по длине направляющей 120, или множества слоев входного канала 135 теплоносителя, или их комбинаций которые включают в себя входные каналы теплоносителя, которые расположены вдоль периферии направляющей 120.

Во время работы охлаждающая жидкость проходит через впускной патрубок 570 подачи теплоносителя к впускному участку 157 для теплоносителя направляющей, проходит через входной канал 135 теплоносителя для поглощения тепловой энергии, при этом нагретая охлаждающая жидкость проходит через выходной канал 137 теплоносителя, и выходит из направляющей 120 через выпускной участок 159 для теплоносителя направляющей. Согласно фиг. 1, впускной участок 157 для теплоносителя направляющей соединен с впускным патрубком 570 подачи теплоносителя, а выпускной участок 159 для теплоносителя направляющей соединен с выпускным патрубком 580 отвода теплоносителя. Чтобы способствовать поглощению или передаче тепловой энергии, поверхность входного канала 135 теплоносителя может быть оснащена выступами, например, иглами, ребрами или иными подобными элементами, которые наряду с другими факторами могут увеличить поверхность контакта охлаждающей жидкости со стенками входного канала 135 теплоносителя.

Может быть использована любая охлаждающая жидкость, подходящая для температур, которые могут встретиться внутри электрического контактного элемента. Примером охлаждающей жидкости может служить вода, C<sub>1</sub>-C<sub>5</sub> спирт, полиальфаолефин, алкиленгликоль такой, как этиленгликоль или пропиленгликоль или смеси указанных веществ. Согласно некоторым вариантам осуществления, охлаждающей жидкостью является вода, смесь воды с пропиленгликолем или смесь воды с этиленгликолем. Охлаждающая жидкость может включать присадки, такие как соли, ингибиторы коррозии, регуляторы pH или сочетания таких веществ. Охлаждающая жидкость характеризуется удельной теплоемкостью, при этом массовый расход охлаждающей жидкости можно изменять, чтобы получить эффективное охлаждение направляющей 120 и электрического контактного элемента 200.

Соединитель 450 посредством крепежного элемента 465 может быть прикреплен к несущему элементу 350. Соединитель 450 может скреплять источник 400 подачи металлической проволоки с несущим элементом 350, и может содержать отверстие 460 для размещения металлической проволоки.

5 Металлическую проволоку подают к одному концу направляющей 120; проволока проходит сквозь направляющую 120 и выходит из другого конца направляющей 120, где она оказывается в плазменной дуге над точкой наплавления металла на изделие. Токосводящий наконечник 215 может быть расположен так, чтобы он вступал в электрический контакт с металлической проволокой после того, как  
10 последняя будет выходить из конца направляющей 120.

Узел токосводящего наконечника, соответствующий настоящему изобретению, содержит механизм поджатия проволоки, который поджимает металлическую проволоку и приводит ее в электрический контакт с токосводящим наконечником. Механизм поджатия проволоки может иметь  
15 любую конструкцию, содержащую ось, зажим, рычаг или иной элемент, который может иметь любую форму, например, L-образную, прямую, круглую или угловую, и который может прикладывать давление к металлической проволоке, чтобы поддерживать ее электрический контакт с токосводящим наконечником. Механизм поджатия проволоки может содержать изолированную головку, которая  
20 может находиться в контакте с металлической проволокой и не передавать при этом электричества на остальную часть механизма поджатия. В иных вариантах осуществления механизм поджатия проволоки полностью покрыт изоляционным материалом. При конфигурации, предлагаемой в настоящем изобретении, можно иметь единственную точку контакта металлической проволоки с токосводящим  
25 наконечником электрического контактного элемента. За счет этого может быть обеспечена определенная точка контакта, которая не перемещается в направлении подачи проволоки. Это позволяет за счет резистивного нагрева нагревать отрезок металлической проволоки постоянной длины. Пример осуществления механизма поджатия показан на фиг. 1, а на фиг. 3 представлен  
30 вид в другом ракурсе. Механизм 190 поджатия проволоки содержит изолированную головку 195, которая поджимает металлическую проволоку 180 и приводит ее в контакт с токосводящим наконечником 215. Изолированная головка 195 может быть выполнена из любого материала, который совместим с окружающей средой и температурами, действию которых может подвергаться

токоподводящий наконечник. Например, изоляционные материалы, которые могут быть использованы по меньшей мере для головки механизма поджатия, или для покрытия головки или большей части механизма поджатия, могут представлять собой электроизоляционную керамику или могут содержать электроизоляционную керамику. Примерами такой керамики являются оксиды или нитриды Al, B, Zr, Mg, Y, Ca, Si, Ce, In и Sn и комбинации указанных веществ. Электроизоляционный материал может представлять собой или может содержать нитрид алюминия, оксид алюминия, нитрид магния, оксид магния, кварц, нитрид кремния, нитрид бора, диоксид циркония, а также смеси и сочетания указанных элементов. Согласно примерам осуществления изобретения, механизм поджатия может быть выполнен из титана или титанового сплава, при этом головка механизма поджатия либо покрыта одним из вышеперечисленных электроизоляционных материалов, либо выполнена из одного из вышеперечисленных электроизоляционных материалов.

Согласно некоторым вариантам осуществления изобретения, механизм поджатия проволоки может оказывать давление на металлическую проволоку 180, когда проволока 180 проходит через механизм 190, чтобы привести металлическую проволоку 180 в соприкосновение с токоподводящим наконечником 215. Согласно примерам осуществления данное давление действует снизу вверх. Давление для поддержания металлической проволоки 180 в контакте с токоподводящим наконечником 215 может быть создано, например, посредством пружины. Пружина может быть выбрана для создания силы надлежащей величины, которая не настолько велика, чтобы токоподводящий наконечник 215 или механизм 190 поджатия царапали проволоку, но достаточно велика, чтобы поддерживать контакт между токоподводящим наконечником 215 и металлической проволокой. Пружина может быть использована для создания давления, которое заставляет механизм 190 поджатия приводить в контакт и прижимать металлическую проволоку 180 к токоподводящему наконечнику 215. Можно использовать пружину любого типа, например, пружину сжатия, пружину растяжения или пружину кручения, или сочетание пружин указанных типов. Согласно некоторым вариантам осуществления изобретения, чтобы механизм 190 поджатия создавал силу, действующую вверх в направлении токоподводящего наконечника 215, чтобы металлическая проволока соприкасалась с токоподводящим наконечником 215, может быть использована

пружина сжатия с коэффициентом жесткости приблизительно от 0,001 Н/м до 10 Н/м.

Согласно некоторым вариантам осуществления настоящего изобретения, диаметр металлической проволоки может находиться в интервале  
5 приблизительно от 0,8 мм до 5 мм. Металлическая проволока может иметь любой практически реализуемый размер, например, 1,0 мм, 1,6 мм, 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 горелку ПДС, чтобы обеспечить непрерывное нагревание  
10 металлической проволоки и ее плавление, когда проволока достигает требуемого положения над предварительно разогретой областью материала основы.

Электрический контактный элемент содержит токоподводящий наконечник, который приводят в соприкосновение с металлической проволокой. Токоподводящий наконечник электрически соединяет металлическую проволоку с  
15 источником питания постоянного тока. Согласно вариантам осуществления изобретения, токоподводящий наконечник в месте контакта с проволокой может иметь закругленную или наполовину закругленную поверхность. Размер данной закругленной или наполовину закругленной поверхности может быть выбран надлежащим образом, чтобы разместить проволоку, с которой токоподводящий  
20 наконечник должен входить в контакт. Например, для проволоки диаметром приблизительно 1,6 мм токоподводящий наконечник может иметь закругленную или вогнутую поверхность диаметром приблизительно 1,8 мм. Также площадь поверхности токоподводящего наконечника может быть достаточно большой, чтобы дополнительно способствовать исключению перегрева, вызванного  
25 передачей электрического тока. Согласно примерам осуществления, ширина или толщина токоподводящего наконечника может находиться в интервале приблизительно от 1 мм до 10 мм. Токоподводящий наконечник может быть выполнен из меди или медного сплава, или может содержать медь или медный сплав. Медный сплав может содержать медь любого сорта по ASTM кл. 2-10.  
30 Медный сплав может содержать медь в сочетании с любым одним из следующих элементов: Ag, Al, Be, B, Cr, In, Mg, Ni, Sn, Sr, W, Zn или Zr, или с комбинацией данных элементов. Например, токоподводящий наконечник может содержать спеченную композицию W и Cu или сплав Cu и W.

Источник питания также может быть соединен с целевой областью металлического объекта, получаемого посредством технологии послойного формирования. Согласно некоторым вариантам осуществления изобретения, данное электрическое соединение выполняют так, чтобы металлическая проволока являлась катодом, а целевая область являлась анодом. В некоторых вариантах данное электрическое соединение выполняют так, чтобы металлическая проволока была анодом, а целевая область была катодом. Когда металлическая проволока входит в дугу плазмотрона, плазменный факел, содержащий электрическую дугу, доставляет поток с высокой концентрацией тепловой энергии к небольшой площадке целевой области при высоком уровне контроля локального распределения и величины теплового потока, подаваемого от плазмотрона. Плазмотрон обладает преимуществом, обеспечивая стабильную и однородную дугу с малым блужданием и хорошей способностью переносить изменение расстояния между катодом и анодом. Плазмотрон может содержать электрод, выполненный из вольфрама, и сопло из меди или медного сплава. Однако, изобретение не привязано к какому-либо конкретному выбору или типу плазмотрона. Может быть использовано любое известное или возможное устройство, способное функционировать в качестве плазмотрона. Также изобретение может быть реализовано с использованием горелки ПДС, которая не является плазмотроном.

Для изоляции электрического контактного элемента от дуги горелки ПДС может быть использован электроизоляционный материал. Данный электроизоляционный материал может быть расположен у выходного отверстия направляющей металлической проволоки, так чтобы он выступал на некоторое расстояние от выходного отверстия. Длина электроизоляционного материала, выступающего от выходного отверстия, может составлять приблизительно 0,1-10 мм, или приблизительно 0,5-5 мм, или приблизительно 1 мм. Пример осуществления изоляции представлен на фиг. 4А, где показан электроизоляционный материал 160, выступающий от конца направляющей 120.

Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением может быть использован в способах изготовления трехмерных объектов из металлического материала посредством технологии послойного формирования, когда изготовление объекта производят путем последовательного наплавления слоев металлического материала на материал основы. В предпочтительных

вариантах осуществления изобретения узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением используют с системой, в которой используются две горелки ПДС, а более предпочтительно – два плазмотрона, так, как раскрыто в международной заявке 2012/134299. Согласно способам, предложенным в

5 настоящем изобретении, на материал основы, который является таким же металлическим материалом, что и изготавливаемый объект, последовательно накладывают слои металлического материала, при этом каждый очередной слой получают следующим образом: используют горелку ПДС для предварительного нагрева материала основы в том месте, куда должен быть наложен

10 металлический материал, чтобы сделать материал основы более восприимчивым к каплям расплавленного металла от расплавленной металлической проволоки, подают металлическую проволоку через узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением, так чтобы дальний конец проволоки после выхода из узла токоподводящего наконечника оказывался

15 над предварительно нагретым материалом основы, на который должен быть наложен расплавленный металл, используют вторую горелку ПДС для нагревания и плавления металлической проволоки, так чтобы расплавленный металлический материал от металлической проволоки каплями падал на предварительно нагретую поверхность материала основы, и перемещают

20 материал основы относительно положения первой и второй горелок ПДС по заданной схеме, так чтобы последовательно наплавленные слои металлического материала затвердевали и образовывали трехмерное изделие. Первая горелка ПДС может подавать энергию к материалу основы, чтобы гарантировать адекватное сплавление перегретой капли металла от расплавленной

25 металлической проволоки с предварительно нагретой поверхностью материала основы. Согласно некоторым вариантам осуществления, от первой горелки ПДС подводят энергию достаточную для плавления по меньшей мере части поверхности материала основы. Согласно некоторым вариантам, первая горелка ПДС формирует лунку расплава в материале основы, в том месте, куда должны

30 быть нанесены капли расплавленного металла от расплавленной металлической проволоки.

Система с двумя горелками дает возможность увеличивать подачу тепла к металлической проволоке независимо от подачи тепла к материалу основы. В таких конструкциях при использовании плазмотронов источник питания

постоянного тока может быть присоединен так, чтобы электрод первого плазмотрона (расположенного над материалом основы для нагревания материала основы в целях увеличения восприимчивости материала основы к каплям металла от расплавленной металлической проволоки) был отрицательным полюсом, а материал основы был положительным полюсом, и образовалась электрическая цепь, в которой за счет дугового разряда происходит перенос электрического заряда между электродом первого плазмотрона и материалом основы. Отрицательный полюс источника постоянного тока может быть присоединен к электроду второго плазмотрона (расположенного вблизи дальнего конца металлической проволоки, выходящего из узла токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением), а положительный полюс может быть присоединен к металлической проволоке, чтобы образовалась электрическая цепь, в которой за счет дугового разряда происходит перенос электрического заряда между электродом второго плазмотрона и металлической проволокой. Первый и второй плазмотроны могут иметь единый источник питания или отдельные источники питания, и могут иметь единый регулятор или отдельные регуляторы для независимого регулирования питания, подаваемого на каждый из плазмотронов.

## С. ПРИМЕРЫ

Нижеследующий пример включен только в целях иллюстрации, и не имеет целью ограничивать идею приведенных в описании вариантов осуществления изобретения.

Пример осуществления узла токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением схематически изображен на фиг. 1. В данном примере осуществления узел токоподводящего наконечника содержит направляющую 120, выполненную из титана, электрический контактный элемент 200, выполненный из меди, и механизм 190 поджатия проволоки, выполненный из титана, покрытого по меньшей мере частично изоляционной керамикой. Как показано, электрический контактный элемент 200 конструктивно выполнен и расположен так, что токоподводящий наконечник 215 находится вблизи плазмотрона. Отдельно управляемый плазмотрон (на фиг. 1 не показан) используется для предварительного нагревания материала основы. Указанный первый плазмотрон предварительно нагревает материал основы, так чтобы материал стал более

восприимчивым к каплям металла от расплавленной металлической проволоки в том месте, куда должен быть наложен расплавленный металлический материал. Согласно некоторым вариантам, чтобы сделать материал основы более восприимчивым, первый плазмотрон расплавляет по меньшей мере часть материала основы. Согласно некоторым вариантам, первый плазмотрон обеспечивает достаточное количество тепла, чтобы сформировать лунку расплава в материале основы, в том месте, куда должен быть наплавлен металлический материал. Отдельный второй плазмотрон осуществляет плавление металлической проволоки. Такое построение системы дает возможность увеличивать количество тепловой энергии, передаваемое металлической проволоке, независимо от количества тепловой энергии, передаваемой материалу основы для его предварительного нагревания.

Электрический контактный элемент 200 соединен с несущим элементом 350, выполненным из титана. Электрический контактный элемент 200 термически изолирован от несущего элемента 350 за счет использования пластмассы или керамики в качестве изоляционного материала 560 в зоне контакта между электрическим контактным элементом 200 и несущим элементом 350. Изоляционный материал 560 это материал с низкой теплопроводностью. Примеры материалов, который могут быть использованы в качестве теплоизоляционного материала, включают керамику и пластмассы. Электрический контактный элемент 200 содержит токоподводящий наконечник 215 из медного сплава, расположенный так, что токоподводящий наконечник 215 приводится в контакт с металлической проволокой после того, как металлическая проволока выходит из конца направляющей 120.

Электрический контактный элемент 200 содержит систему охлаждения, которая включает в себя впуск 225 для теплоносителя и выпуск 228 для теплоносителя. Впуск 225 для теплоносителя и выпуск 228 для теплоносителя сообщаются друг с другом через каналы для теплоносителя (показаны на фиг. 2), которые находятся внутри электрического контактного элемента 200, и дают возможность охлаждающей жидкости проходить от впуска 225 для теплоносителя сквозь электрический контактный элемент 200, в частности сквозь область вблизи токоподводящего наконечника 215, и после поглощения тепловой энергии выходить из электрического контактного элемента 200 через выпуск 228 для теплоносителя. В данном примере охлаждающей жидкостью является вода.

Электрический контактный элемент 200 содержит электрический соединитель 230 для подачи питания на токоподводящий наконечник 215. Электрический соединитель 230 связывает токоподводящий наконечник 215 с источником питания постоянного тока, так что, когда токоподводящий наконечник 215 приводят в контакт с металлической проволокой, металлическая проволока становится анодом. Электрод плазмотрона присоединяют к источнику постоянного тока так, что плазмотрон становится катодом.

Узел 100 токоподводящего наконечника в данном примере также содержит титановую направляющую 120. Направляющая 120 расположена ниже электрического контактного элемента 200. Металлическая проволока входит в направляющую 120 с одного конца, проходит сквозь направляющую 120 и выходит из направляющей 120 с другого конца, где проволока оказывается в плазменной дуге плазмотрона над точкой наплавления металла на изделие. В представленном примере токоподводящий наконечник 215 приводится в контакт с металлической проволокой после того, как проволока выйдет из направляющей 120. В рассматриваемом примере направляющая 120 имеет в общем цилиндрическую форму и круглое поперечное сечение для размещения металлической проволоки, которая имеет форму проволоки по существу круглого поперечного сечения, как показано на фиг. 4А. Выходная часть направляющей 120 по форме имеет круглое поперечное сечение. Направляющая 120 в рассматриваемом примере содержит крепежный выступ 122, который позволяет фиксировать направляющую 120 на несущем элементе (опоре) 350, как показано на фиг. 4А и 4В. Направляющая 120 в рассматриваемом примере также содержит нижнее отверстие 125, которое дает возможность пыли или частицам материала металлической проволоки выходить из направляющей 120, прежде чем они попадут в зону формирования изделия.

В данном примере направляющая 120 у своего выходного конца содержит электроизоляционное покрытие 160 из керамики на основе оксида алюминия, которое отделяет направляющую 120 от металлической проволоки, и полностью окружает участок металлической проволоки, когда проволока выходит из направляющей 120 (см. фиг. 4В). Направляющая 120 термически изолирована от несущего элемента 350 посредством теплоизоляционного материала, помещенного между точками соприкосновения направляющей 120 и несущего элемента 350.

В данном примере направляющая 120 содержит тракт для охлаждающей жидкости, причем в качестве охлаждающей жидкости используется вода. Тракт для охлаждающей жидкости содержит впускной участок 157 для теплоносителя направляющей, который соединен и имеет жидкостную связь с входным каналом 135 теплоносителя, который пересекает направляющую 120 и позволяет охлаждающей жидкости проходить сквозь направляющую 120, чтобы отводить тепловую энергию от электрического контактного элемента 200, с которым направляющая 120 находится в тепловом контакте. В данном примере входной канал 135 теплоносителя проходит через верхнюю часть направляющей 120, которая соприкасается по меньшей мере с частью электрического контактного элемента 200. После поглощения тепловой энергии охлаждающая жидкость проходит через выходной канал 137 теплоносителя к выпускному участку 159 для теплоносителя направляющей, чтобы выйти из направляющей 120.

Как упоминалось выше, узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением был использован в сварочной системе с двумя горелками, такой, какая раскрыта в международной патентной заявке 2012/134299. Система с двумя горелками дает возможность увеличивать подачу тепла к металлической проволоке независимо от подачи тепла к материалу основы, так что становится возможным увеличивать тепловой поток, поступающий в металлическую проволоку, и увеличивать скорость нанесения расплавленного материала металлической проволоки, не перегревая одновременно материал основы, не рискуя возможностью образования брызг или чрезмерного плавления материала основы, или образования в материале основы слишком большой лунки расплава. В данном примере источник питания постоянного тока был присоединен так, что электрод первого плазмотрона (расположенного над материалом основы для предварительного нагревания материала основы) являлся отрицательным полюсом, а материал основы являлся положительным полюсом, и была образована электрическая цепь, в которой за счет дугового разряда происходил перенос электрического заряда между электродом первого плазмотрона и материалом основы. Электрод второго плазмотрона (расположенного вблизи дальнего конца металлической проволоки, выходящего из узла токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением) был соединен с отрицательным полюсом источника питания постоянного тока, а металлическая проволока была соединена с положительным полюсом, так что была образована электрическая

цепь, в которой за счет дугового разряда происходил перенос электрического заряда между электродом второго плазмотрона и металлической проволокой. В данном примере первый и второй плазмотроны имели отдельные источники питания и отдельные регуляторы для независимого регулирования питания, подаваемого на каждый из плазмотронов. Отдельные тепловые датчики использовали на каждом из плазмотронов для контроля температуры зоны наплавления металла на материал основы и температуры металлической проволоки. Также были использованы средства магнитного отклонения дуги для регулирования ширины дуги и ее положения.

В качестве металлической проволоки использовали проволоку диаметром 2,4 мм из титанового сплава сорта 5 (Grade 5). Скорость подачи (скорость движения проволоки) и положение металлической проволоки контролировали и регулировали в соответствии с влиянием источника питания на второй плазмотрон, чтобы гарантировать непрерывное нагревание и плавление металлической проволоки, когда дальний конец проволоки достигал заданного положения над областью предварительного нагрева материала основы. В данном примере в первом плазмотроне (над материалом основы) устанавливали ток величиной приблизительно 250 А, а во втором плазмотроне устанавливали ток приблизительно до 300 А. Была достигнута скорость направления приблизительно 5 кг/ч.

Система управления (например, автоматизированная система управления производством) может быть приведена в действие для одновременного управления и регулирования работы одного или более приводов (не показаны), которые непрерывно перемещают и позиционируют материал основы и один или более плазмотронов или одну или более горелок ПДС, так чтобы наносить материал в требуемой точке, как это задано моделью CAD объекта, который подлежит изготовлению. Система управления может также быть приведена в действие для управления любым приводом, который управляет плазмотроном или горелкой ПДС предварительного нагрева, так чтобы область предварительного нагрева материала основы или лунка расплава в материале основы находилась там, куда должен быть наплавлен металлический материал.

Система управления в рассмотренных примерах осуществления настоящего изобретения может обеспечить частичную или полную автоматизацию аппарата наплавления. Система управления может включать в

себя процессор компьютера или центральное процессорное устройство (ЦП), дисплей ЦП, один или более источников питания, соединители для подачи питания, сигнальные модули, такие как модули ввода и/или модули вывода, встроенные средства экранирования аналоговых сигналов, накопительные устройства, печатные платы, микросхемы памяти и другие средства хранения, энергонезависимый машиночитаемый носитель информации, содержащий программу, реализуемую в настоящем изобретении, или любое сочетание указанных устройств. Машиночитаемый носитель информации может содержать надлежащую программу для автоматизации любой системы или комбинации систем. В качестве примера, помимо других возможных модули управления могут включать в себя: SIMATIC-S7-1500 от компании Siemens AG (Munich, Germany), систему IndraMotion MTX от компании Bosch Rexroth AG (Lohr am Main, Germany), а также компактную промышленную компьютерную систему SIGMATEK C-IPC от компании SIGMATEK GmbH & Co. KG (Lamprechtshausen, Austria).

Для специалистов в данной области техники должно быть понятно, что в рамках идеи и объема настоящего изобретения в изобретение могут быть внесены различные изменения и предложены варианты. Таким образом, предполагается, что настоящее изобретение охватывает определенные изменения и варианты при условии, что они укладываются в границы идеи и объема изобретения, установленные в формуле изобретения и ее эквивалентах.

#### ПЕРЕЧЕНЬ ОБОЗНАЧЕНИЙ

Ниже приведен перечень ссылочных (позиционных) номеров, которые использованы в описании и прилагаемых чертежах:

25	100	Узел токоподводящего наконечника
	120	Направляющая
	122	Крепежный выступ
	125	Нижнее отверстие
	130	Центральное отверстие
30	135	Входной канал теплоносителя направляющей для проволоки
	137	Выходной канал теплоносителя направляющей для проволоки
	140	Первый конец
	145	Входное отверстие
	150	Второй конец

	155	Выходное отверстие
	157	Впускной участок для теплоносителя направляющей для проволоки
5	159	Выпускной участок для теплоносителя направляющей для проволоки
	160	Электроизоляционное покрытие
	170	Направляющий канал
	180	Металлическая проволока
	190	Механизм поджатия проволоки
10	195	Изолированная головка
	200	Электрический контактный элемент
	215	Токоподводящий наконечник
	225	Впуск для теплоносителя
	226	Входной канал теплоносителя
15	227	Выходной канал теплоносителя
	228	Выпуск для теплоносителя
	230	Электрический соединитель
	350	Несущий элемент
	400	Источник подачи металлической проволоки
20	450	Соединитель
	460	Отверстие для размещения металлической проволоки
	465	Крепежный элемент
	560	Теплоизоляционный материал
	570	Впускной патрубок для подачи теплоносителя
25	580	Выпускной патрубок для отвода теплоносителя

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением, содержащий:  
направляющую,

5 электрический контактный элемент, содержащий:  
токоподводящий наконечник, соединенный с источником  
электропитания, и

систему охлаждения, которая содержит:

впуск для теплоносителя,

10 входной канал теплоносителя, соединенный и выполненный  
с возможностью сообщения по текучей среде с впуском для  
теплоносителя,

выходной канал теплоносителя, соединенный и  
выполненный с возможностью сообщения по текучей среде с  
15 входным каналом теплоносителя, и

выпуск для теплоносителя, соединенный и выполненный с  
возможностью сообщения по текучей среде с выходным каналом  
теплоносителя, и

20 механизм поджатия проволоки, выполненный с возможностью поджатия  
металлической проволоки и приведения ее в контакт с токоподводящим  
наконечником электрического контактного элемента.

2. Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением по п. 1,  
отличающийся тем, что направляющая содержит:

25 продольную центральную ось, первый конец, противоположный второй  
конец и центральное отверстие, проходящее вдоль продольной центральной оси  
направляющей от первого конца к противоположному второму концу, через  
которое можно подавать металлическую проволоку, и

систему охлаждения, которая содержит:

30 впускной участок для теплоносителя, выполненный с возможностью  
соединения для сообщения по текучей среде с патрубком подачи  
теплоносителя,

входной канал теплоносителя, соединенный и выполненный с возможностью сообщения по текучей среде со впускным участком для теплоносителя,

5 выходной канал теплоносителя, соединенный и выполненный с возможностью сообщения по текучей среде с входным каналом теплоносителя, и

выпускной участок для теплоносителя, соединенный и выполненный с возможностью сообщения по текучей среде с выходным каналом теплоносителя.

10

3. Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением по п. 1 или п. 2, отличающийся тем, что входной канал теплоносителя содержит множество соединенных друг с другом параллельных каналов в ближней области токоподводящего наконечника.

15

4. Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением по любому из п.п. 1-3, отличающийся тем, что направляющая дополнительно содержит нижнее отверстие.

20

5. Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением по любому из п.п. 1-4, отличающийся тем, что направляющая содержит титан или титановый сплав.

25

6. Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением по любому из п.п. 1-5, отличающийся тем, что электрический контактный элемент содержит медь или медный сплав.

30

7. Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением по любому из п.п. 1-6, отличающийся тем, что токоподводящий наконечник содержит медь или медный сплав.

8. Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением по любому из п.п. 1-7, отличающийся тем, что механизм поджатия проволоки содержит пружину, выполненную с возможностью оказывать давление, которое вынуждает

механизм поджатия проволоки поджимать металлическую проволоку и приводить ее в контакт с токоподводящим наконечником.

- 5 9. Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением по п. 8, отличающийся тем, что механизм поджатия проволоки содержит изолированную головку, выполненную с возможностью контактировать с металлической проволокой, когда механизм поджатия проволоки поджимает металлическую проволоку и приводит ее в контакт с токоподводящим наконечником.
- 10 10. Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением по любому из п.п. 1-9, отличающийся тем, что механизм поджатия проволоки содержит титан или титановый сплав, и соединен с электрическим контактным элементом.
- 15 11. Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением по любому из п.п. 1-10, отличающийся тем, что дополнительно содержит:  
несущий элемент, с которым соединены направляющая и электрический контактный элемент, и  
источник подачи металлической проволоки.
- 20 12. Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением по п. 11, отличающийся тем, что дополнительно содержит теплоизоляционный материал между несущим элементом и электрическим контактным элементом.
- 25 13. Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением по п. 11, отличающийся тем, что несущий элемент дополнительно содержит:  
патрубок подачи теплоносителя, выполненный с возможностью соединения для сообщения по текучей среде с впускным участком для теплоносителя направляющей, и  
патрубок отвода теплоносителя, выполненный с возможностью  
30 соединения для сообщения по текучей среде с выпускным участком для теплоносителя направляющей.
14. Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением по любому из п.п. 1-13, отличающийся тем, что предусмотрена возможность, после

прохождения сквозь направляющую, контакта металлической проволоки с плазменной дугой над обрабатываемым изделием.

- 5 15. Способ изготовления трехмерного объекта из металлического материала с помощью технологии послойного формирования, включающий этапы, на которых:
- последовательно накладывают слои металлического материала на материал основы, при этом каждый последующий слой получают путем:
- 10 подачи металлической проволоки сквозь направляющую в электрический контактный элемент с жидкостным охлаждением, который подводит ток к металлической проволоке, и
- используя первую горелку плазменно-дуговой сварки (ПДС), нагревают и расплавляют проволоку так, чтобы расплавленный металлический материал каплями падал на материал основы.

- 15 16. Способ по п. 15, отличающийся тем, что дополнительно включает этап, на котором задают схему наложения материала путем перемещения по меньшей мере одного из материала основы и первой горелки ПДС, так чтобы последовательно накладываемые слои расплавленного металлического материала из расплавленной проволоки затвердевали и образовывали
- 20 трехмерный объект.

17. Способ по п. 15 или п. 16, отличающийся тем, что дополнительно включает этап предварительного нагревания материала основы в том месте, где предстоит
- 25 накладывать металлический материал.

18. Способ по п. 17, отличающийся тем, что предварительное нагревание выполняют, используя вторую горелку ПДС.

19. Способ по п. 18, отличающийся тем, что дополнительно включает этап, на
- 30 котором задают схему наложения материала путем перемещения по меньшей мере одного из материала основы, первой горелки ПДС и второй горелки ПДС, так чтобы последовательно накладываемые слои расплавленного металлического материала из расплавленной проволоки затвердевали и образовывали трехмерный объект.



направляющую с жидкостным охлаждением для подведения металлической проволоки в положение над материалом основы,

электрический контактный элемент с жидкостным охлаждением, находящийся в электрическом контакте с металлической проволокой, для подведения тока к металлической проволоке,

первую сварочную горелку для расплавления металлической проволоки, чтобы вынудить металлический материал каплями падать на материал основы, и

компьютерную модель подлежащего изготовлению объекта для задания профиля наложения слоев, так чтобы построение физического объекта происходило путем последовательного наплавления слоев металлического материала на материал основы.

25. Система по п. 24, отличающаяся тем, что дополнительно содержит платформу с приводом, которая выполнена с возможностью перемещения материала основы относительно по меньшей мере сварочной горелки.

26. Система по п. 24 или п. 25, отличающаяся тем, что дополнительно содержит рычаг привода, который выполнен с возможностью перемещения первой сварочной горелки.

27. Система по любому из п.п. 24-26 отличающаяся тем, что дополнительно содержит вторую сварочную горелку для предварительного нагревания материала основы в области, где должно происходить наложение металлического материала.

28. Система по п. 27, отличающаяся тем, что дополнительно содержит рычаг привода, который выполнен с возможностью перемещения второй сварочной горелки.

29. Способ по любому из п.п. 24-28 отличающийся тем, что ток, подводимый к металлической проволоке, имеет величину по меньшей мере 100 А.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

(с изменениями по ст. 34 РСТ)

1. Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением для подачи  
5 металлической проволоки, содержащий:

направляющую,

электрический контактный элемент, и

механизм поджатия проволоки, выполненный с возможностью поджатия  
металлической проволоки и приведения ее в контакт с токоподводящим  
10 наконечником электрического контактного элемента,

причем

направляющая содержит каналы теплоносителя, образующие тракт  
охлаждающей жидкости, по которому может проходить охлаждающая жидкость,  
причем

15 электрический контактный элемент содержит:

токоподводящий наконечник, соединенный с источником  
электропитания и установленный отдельно на расстоянии от  
направляющей, и

систему охлаждения, которая содержит:

20 выпуск для теплоносителя,

входной канал теплоносителя, соединенный и выполненный  
с возможностью сообщения по текучей среде с выпуском для  
теплоносителя,

25 выходной канал теплоносителя, соединенный и  
выполненный с возможностью сообщения по текучей среде с  
входным каналом теплоносителя, и

выпуск для теплоносителя, соединенный и выполненный с  
возможностью сообщения по текучей среде с выходным каналом  
теплоносителя.

30 2. Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением по п. 1,  
отличающийся тем, что направляющая содержит:

продольную центральную ось, первый конец, противоположный второй  
конец и центральное отверстие, проходящее вдоль продольной центральной оси

направляющей от первого конца к противоположному второму концу, через которое можно подавать металлическую проволоку, причем

тракт охлаждающей жидкости содержит:

5           впускной участок для теплоносителя, выполненный с возможностью соединения для сообщения по текучей среде с патрубком подачи теплоносителя,

          входной канал теплоносителя, соединенный и выполненный с возможностью сообщения по текучей среде со впускным участком для теплоносителя,

10          выходной канал теплоносителя, соединенный и выполненный с возможностью сообщения по текучей среде с входным каналом теплоносителя, и

          выпускной участок для теплоносителя, соединенный и выполненный с возможностью сообщения по текучей среде с выходным каналом теплоносителя.

15

3. Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением по п. 1 или п. 2, отличающийся тем, что входной канал теплоносителя содержит множество соединенных друг с другом параллельных каналов в ближней области токоподводящего наконечника.

20

4. Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением по любому из п.п. 1-3, отличающийся тем, что направляющая дополнительно содержит нижнее отверстие.

25

5. Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением по любому из п.п. 1-4, отличающийся тем, что направляющая содержит титан или титановый сплав.

30

6. Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением по любому из п.п. 1-5, отличающийся тем, что электрический контактный элемент содержит медь или медный сплав.

7. Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением по любому из п.п. 1-6, отличающийся тем, что токоподводящий наконечник содержит медь или медный сплав.

5 8. Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением по любому из п.п. 1-7, отличающийся тем, что механизм поджатия проволоки содержит пружину, выполненную с возможностью оказывать давление, которое вынуждает механизм поджатия проволоки поджимать металлическую проволоку и приводить ее в контакт с токоподводящим наконечником.

10

9. Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением по п. 8, отличающийся тем, что механизм поджатия проволоки содержит изолированную головку, выполненную с возможностью контактировать с металлической проволокой, когда механизм поджатия проволоки поджимает металлическую  
15 проволоку и приводит ее в контакт с токоподводящим наконечником.

10. Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением по любому из п.п. 1-9, отличающийся тем, что механизм поджатия проволоки содержит титан или титановый сплав, и соединен с электрическим контактным элементом.

20

11. Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением по любому из п.п. 1-10, отличающийся тем, что дополнительно содержит:

несущий элемент, с которым соединены направляющая и электрический контактный элемент, и

25

источник подачи металлической проволоки.

12. Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением по п. 11, отличающийся тем, что дополнительно содержит теплоизоляционный материал между несущим элементом и электрическим контактным элементом.

30

13. Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением по п. 11, отличающийся тем, что несущий элемент дополнительно содержит:

патрубок подачи теплоносителя, выполненный с возможностью соединения для сообщения по текучей среде с впускным участком для теплоносителя направляющей, и

патрубок отвода теплоносителя, выполненный с возможностью  
5 соединения для сообщения по текучей среде с выпускным участком для теплоносителя направляющей.

14. Узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением по любому из п.п. 1-13, отличающийся тем, что предусмотрена возможность, после  
10 прохождения сквозь направляющую, контакта металлической проволоки с плазменной дугой над обрабатываемым изделием.

15. Способ изготовления трехмерного объекта из металлического материала с помощью технологии послойного формирования, включающий этапы, на которых:  
15 последовательно накладывают слои металлического материала на материал основы, при этом каждый последующий слой получают путем:

подачи металлической проволоки сквозь направляющую в электрический контактный элемент с жидкостным охлаждением, который подводит ток к металлической проволоке, причем направляющая содержит каналы  
20 теплоносителя, образующие тракт охлаждающей жидкости, по которому может проходить охлаждающая жидкость, при этом токоподводящий наконечник соединен с источником электропитания и установлен отдельно на расстоянии от направляющей, и

используя первую горелку плазменно-дуговой сварки (ПДС), нагревают и  
25 расплавляют проволоку так, чтобы расплавленный металлический материал каплями падал на материал основы.

16. Способ по п. 15, отличающийся тем, что дополнительно включает этап, на котором задают схему наложения материала путем перемещения по меньшей  
30 мере одного из материала основы и первой горелки ПДС, так чтобы последовательно накладываемые слои расплавленного металлического материала из расплавленной проволоки затвердевали и образовывали трехмерный объект.

17. Способ по п. 15 или п. 16, отличающийся тем, что дополнительно включает этап предварительного нагревания материала основы в том месте, где предстоит накладывать металлический материал.

5 18. Способ по п. 17, отличающийся тем, что предварительное нагревание выполняют, используя вторую горелку ПДС.

19. Способ по п. 18, отличающийся тем, что дополнительно включает этап, на котором задают схему наложения материала путем перемещения по меньшей  
10 мере одного из материала основы, первой горелки ПДС и второй горелки ПДС, так чтобы последовательно накладываемые слои расплавленного металлического материала из расплавленной проволоки затвердевали и образовывали трехмерный объект.

15 20. Способ по любому из п.п. 15-19, отличающийся тем, что электрический контактный элемент с жидкостным охлаждением содержит систему охлаждения, содержащую:

впуск для теплоносителя, выполненный с возможностью соединения для сообщения по текучей среде с патрубком подачи теплоносителя,

20 входной канал теплоносителя, соединенный и выполненный с возможностью сообщения по текучей среде с впуском для теплоносителя,

выходной канал теплоносителя, соединенный и выполненный с возможностью сообщения по текучей среде с входным каналом теплоносителя, и

25 выпуск для теплоносителя, соединенный и выполненный с возможностью сообщения по текучей среде с выходным каналом теплоносителя.

21. Способ по любому из п.п. 15-20, отличающийся тем, что тракт охлаждающей жидкости направляющей содержит:

30 впускной участок для теплоносителя, выполненный с возможностью соединения для сообщения по текучей среде с патрубком подачи теплоносителя,

входной канал теплоносителя, соединенный и выполненный с возможностью сообщения по текучей среде с впускным участком для теплоносителя,

выходной канал теплоносителя, соединенный и выполненный с возможностью сообщения по текучей среде с входным каналом теплоносителя, и выпускной участок для теплоносителя, соединенный и выполненный с возможностью сообщения по текучей среде с выходным каналом теплоносителя.

5

22. Способ по любому из п.п. 15-21, отличающийся тем, что металлическая проволока выполнена в виде любой проволоки и содержит Al, Cr, Cu, Fe, Hf, Sn, Mn, Mo, Ni, Nb, Si, Ta, Ti, V, W или Zr, или их композиты или сплавы.

10 23. Способ по любому из п.п. 15-22, отличающийся тем, что ток, подводимый к металлической проволоке, имеет величину по меньшей мере 100 А.

24. Система для изготовления трехмерного объекта из металлического материала с помощью технологии послойного формирования, содержащая:

15 узел токоподводящего наконечника с жидкостным охлаждением по любому из п.п. 1-14, находящийся в электрическом контакте с металлической проволокой, для подведения тока к металлической проволоке,

первую сварочную горелку для расплавления металлической проволоки, чтобы вынудить металлический материал каплями падать на материал основы, и

20 компьютерную модель подлежащего изготовлению объекта для задания профиля наложения слоев, так чтобы построение физического объекта происходило путем последовательного наплавления слоев металлического материала на материал основы.

25 25. Система по п. 24, отличающаяся тем, что дополнительно содержит платформу с приводом, которая выполнена с возможностью перемещения материала основы относительно по меньшей мере сварочной горелки.

26. Система по п. 24 или п. 25, отличающаяся тем, что дополнительно содержит 30 рычаг привода, который выполнен с возможностью перемещения первой сварочной горелки.

27. Система по любому из п.п. 24-26 отличающаяся тем, что дополнительно содержит вторую сварочную горелку для предварительного нагревания

материала основы в области, где должно происходить наложение металлического материала.

28. Система по п. 27, отличающаяся тем, что дополнительно содержит рычаг  
5 привода, который выполнен с возможностью перемещения второй сварочной горелки.

29. Система по любому из п.п. 24-28 отличающаяся тем, что ток, подводимый к металлической проволоке, имеет величину по меньшей мере 100 А.

10

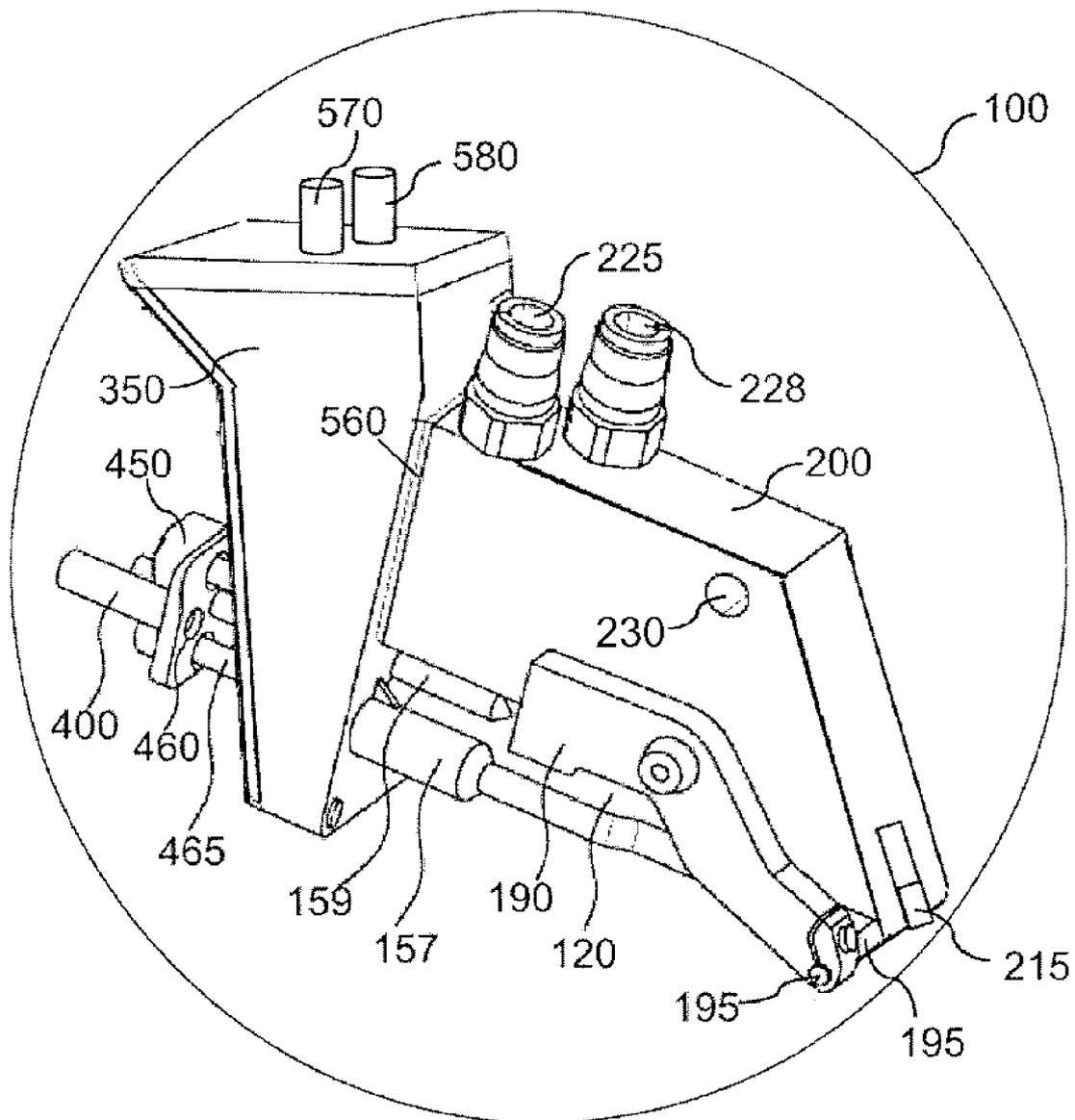


FIG. 1

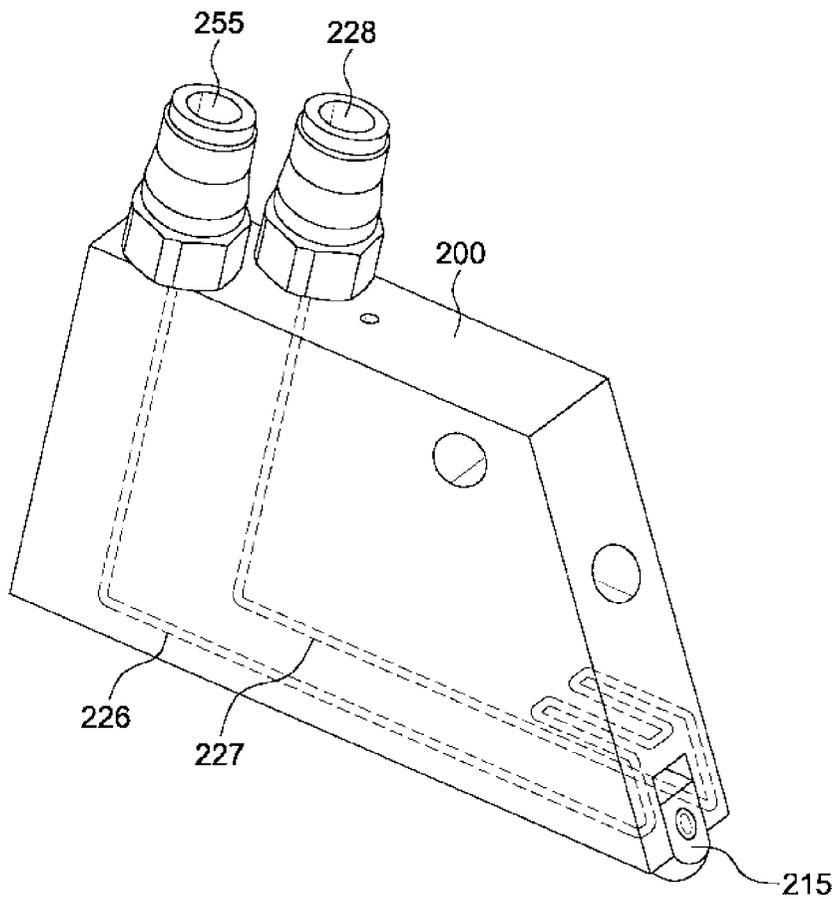


FIG. 2

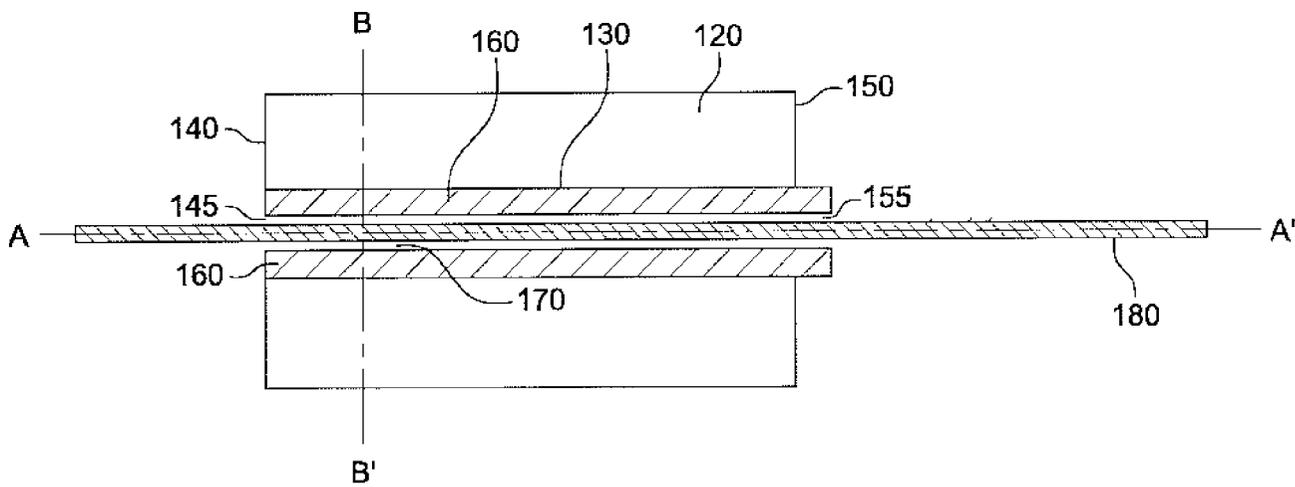


FIG. 3

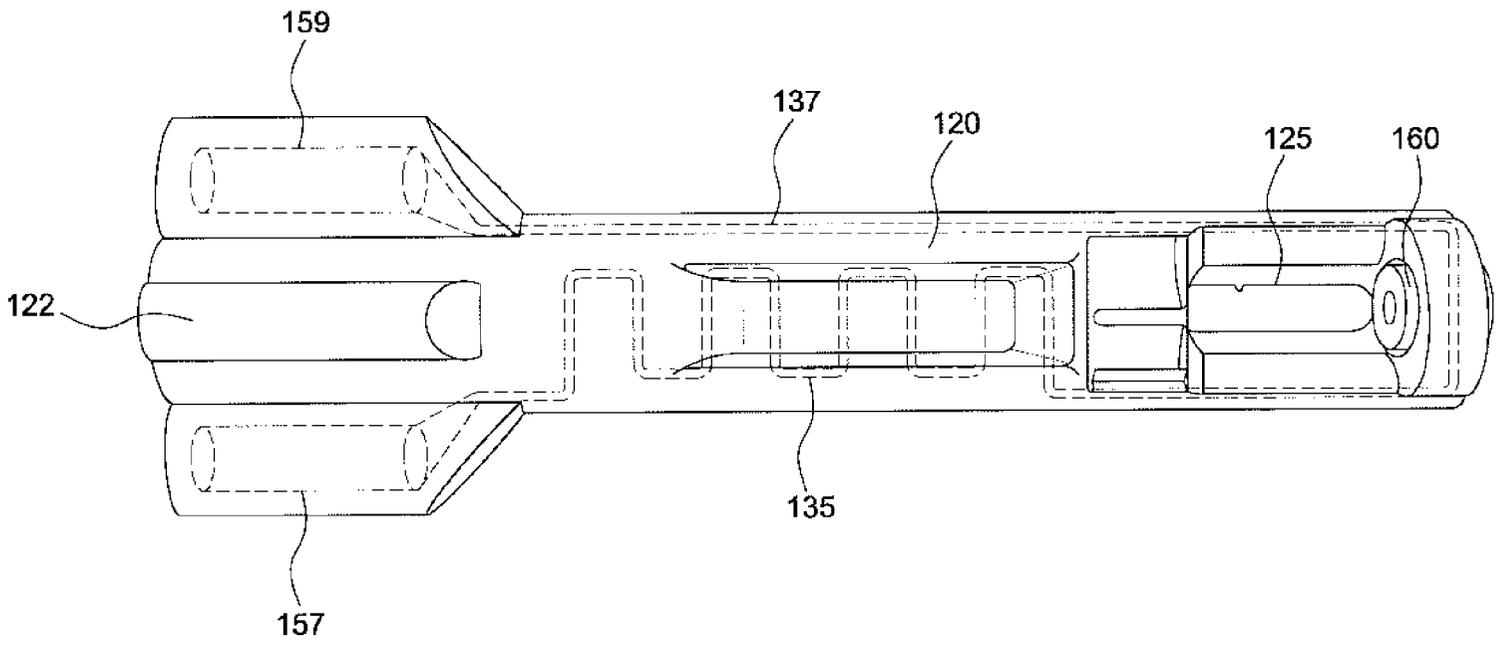


FIG. 4A

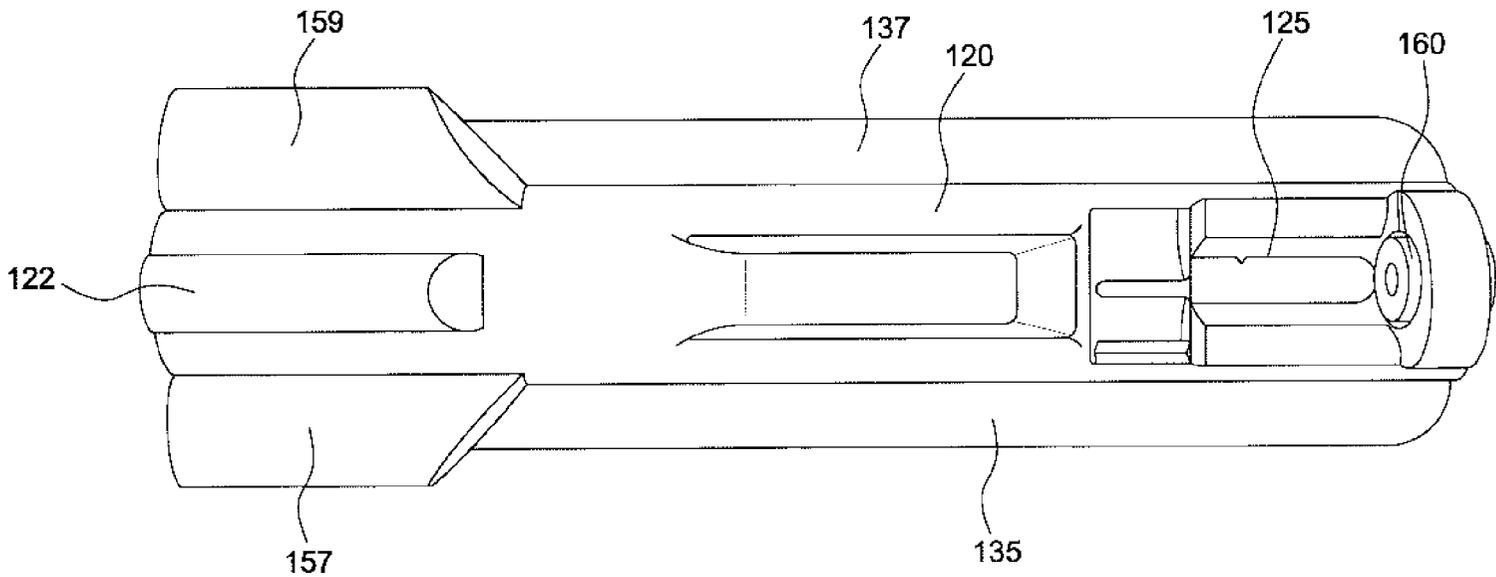


FIG. 4B

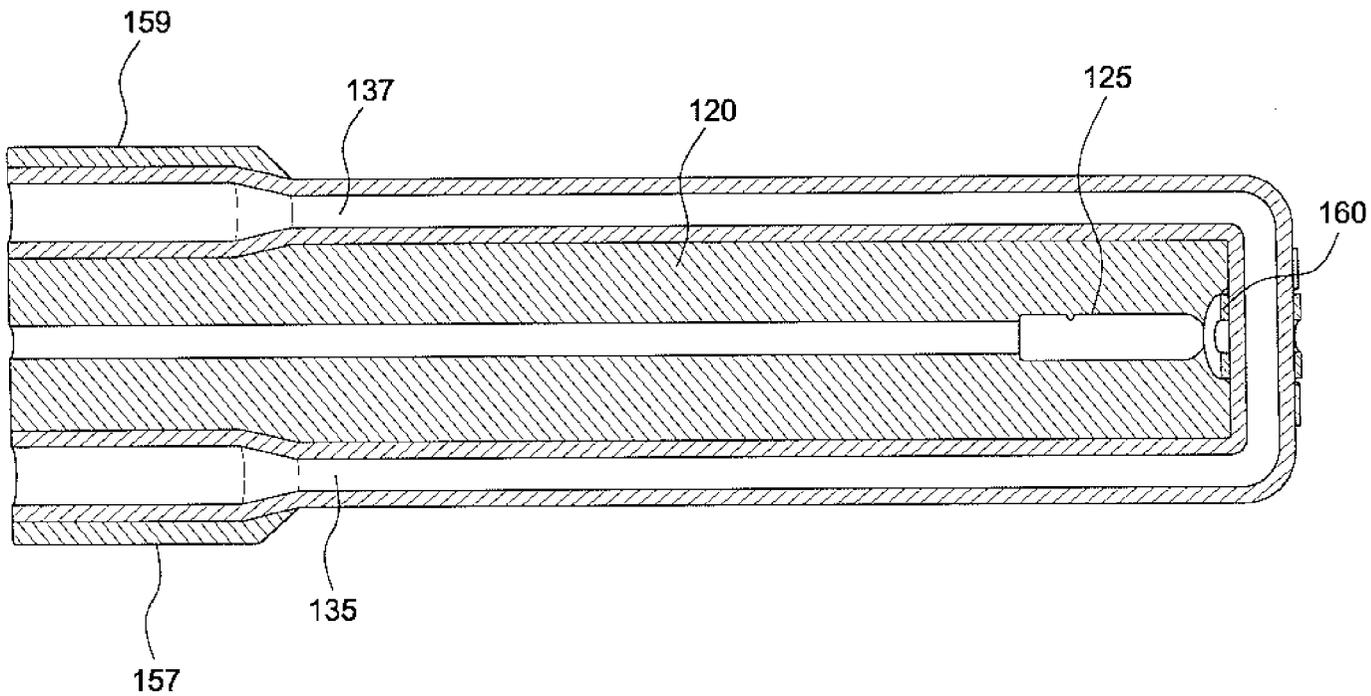


FIG. 4C

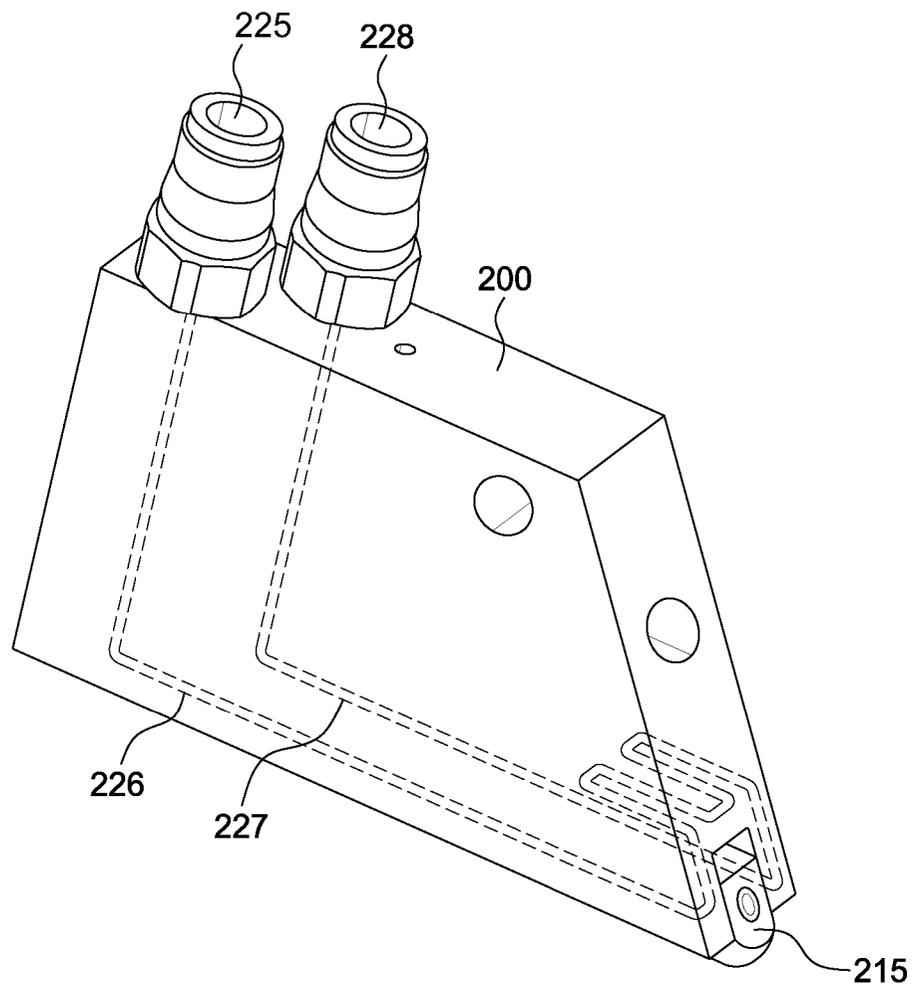


FIG. 2