

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 21914

(13) С1

(46) 2018.06.30

(51) МПК

H 05H 1/00 (2006.01)

(54)

ПЛАЗМОТРОН ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЯ

(21) Номер заявки: а 20160217

(22) 2016.06.09

(43) 2018.02.28

(71) Заявитель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(72) Авторы: Оковитый Василий Вячеславович; Девойно Олег Георгиевич; Оковитый Вячеслав Александрович; Асташинский Валентин Минович (ВУ)

(73) Патентообладатель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(56) ВУ 9423 U, 2013.

ВУ 14906 С1, 2011.

ВУ 2306 С1, 1998.

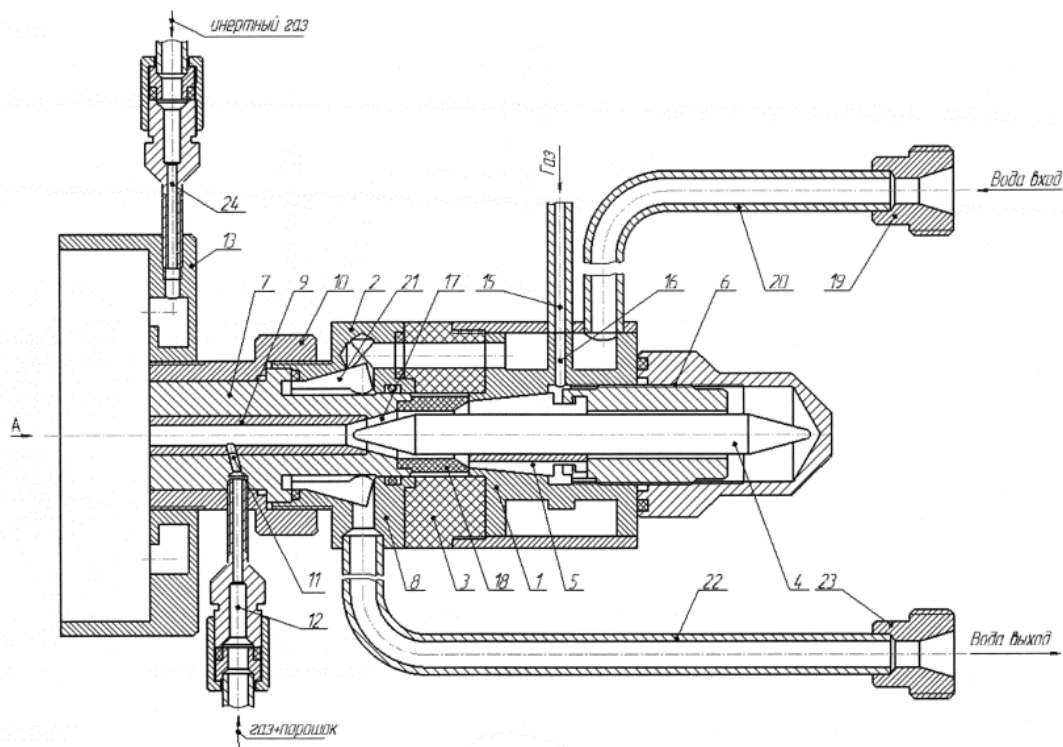
RU 2350052 С1, 2009.

GB 1145241 А, 1969.

GB 1184427 А, 1970.

(57)

Плазмотрон для нанесения покрытия, включающий катодный и анодный узлы, разделенные изолятором, инжектор для подачи порошка, трубки для подачи охлаждающей жидкости, при этом анодный узел содержит корпус и медное водоохлаждаемое сопло-анод, в котором выполнено отверстие, сообщающееся с инжектором для подачи порошка,



Фиг. 1

ВУ 21914 С1 2018.06.30

а катод выполнен из лантанированного вольфрама с двухсторонними рабочими поверхностями и закреплен в цанге, **отличающийся** тем, что сопло-анод содержит внутреннюю вставку, выполненную в виде вольфрамовой втулки, а к указанному корпусу прикреплена посредством резьбового соединения насадка для подачи нагретого инертного газа вдоль ее стенок через систему отверстий в ее концевой части в зону распространения плазменной струи.

Изобретение относится к оборудованию для нанесения легкоплавких подслоев плазменных покрытий и может быть использовано в машиностроении для получения деталей с повышенной термостойкостью.

Известен плазмотрон 0890-6011, состоящий из катодного и анодного узлов, разделенных изолятором, причем плазмотрон имеет цанговый способ крепления катода, изготовленного из лантанированного вольфрама, что обеспечивает его надежное крепление и при необходимости быструю замену, а регулировка зазора между катодом и медным водоохлаждаемым анодом в процессе эксплуатации плазмотрона по мере износа катода производится с помощью цанги, порошок подается в канал плазмотрона через инжектор за анодным пятном [1].

Основным недостатком данного плазмотрона является невысокая мощность до 20 квт, что в первую очередь связано с невысокой теплоотдачей от стенок анода за счет недостаточной поверхности охлаждения анода и, соответственно, большим эрозионным износом электродов, кроме того, подача порошка в канал плазмотрона - зону с высоким уровнем пульсаций параметров плазменного потока - приводит к частому залипанию сопла расплавленным порошком при напылении материалов с высокой температурой плавления. Стабильно (до 100 ч) плазмотрон работает только при напылении легкоплавких металлов и сплавов.

Известен плазмотрон для нанесения покрытия [2], включающий катодный и анодный узлы, разделенные изолятором, и инжектор для подачи порошка, трубки для подачи охлаждающей жидкости, при этом анодный узел включает в себя медный водоохлаждаемый сопло-анод и корпус анода, а изготовленный из лантанированного вольфрама катод закреплен в цанге, катод выполнен с двухсторонними рабочими поверхностями, соплоанод снабжен каналами для охлаждения, а инжектор для подачи порошка расположен на гайке, прикрепленной на резьбе к корпусу анода таким образом, что обеспечивает подачу порошка в плазменную струю на выходе из сопла-анода.

К недостаткам можно отнести: невысокую производительность плазмотрона, связанную с подачей порошка на срез плазмотрона, которая значительно снижает время пребывания частиц порошка в плазменной струе; высокую энергоемкость из-за активного охлаждения сопла-анода; плазмотрон выполнен в ручном варианте (напыление с использованием оператора) и его невозможно использовать при комплексной механизации и автоматизации процесса нанесения легкоплавких подслоев (корпус машинных плазмотронов имеет цилиндрическую форму).

В качестве прототипа выбран плазмотрон для нанесения покрытия, включающий катодный и анодный узлы, разделенные изолятором, инжектор для подачи порошка, трубки для подачи охлаждающей жидкости, при этом анодный узел содержит корпус и медное водоохлаждаемое сопло-анод, а катод выполнен из лантанированного вольфрама с двухсторонними рабочими поверхностями и закреплен в цанге, в сопле-аноде выполнено отверстие, сообщающееся с инжектором для подачи порошка, а трубки для подачи охлаждающей жидкости размещены с двух сторон анодного и катодного узлов [3].

К недостаткам можно отнести: интенсивное турбулентное перемешивание потока плазмы с окружающим холодным газом, что приводит к уменьшению скорости и снижению температуры частиц напыляемого материала. В результате возрастает вероятность

появления недогретых и окисленных частиц в зоне формирования покрытия, что недопустимо при напылении жаростойких подслоев на основе М-кролей (Me-Cr-Al-Y), где Me-(Ni, Co, Fe). Наличие медного сопла-анода приводит к быстрому износу электродного узла из-за невысокой эрозионной стойкости, электропроводимости, теплопроводности и недостаточной прочности при работе на жестких режимах (ток выше 500 А и напряжение выше 70 В), необходимых при формировании теплозащитных покрытий.

Техническая задача, решаемая изобретением - повышение ресурса и мощности плазмотрона для напыления за счет применения вольфрамовой вставки в медном сопле - аноде, а также улучшение условий напыления частиц порошка жаростойких подслоев на основе М-кролей, приводящим к более эффективному нагреву порошка, без окисления за счет применения специальной насадки с контролируемой атмосферой.

Поставленная цель достигается тем, что в плазмотроне для нанесения покрытия, включающем катодный и анодный узлы, разделенные изолятором, инжектор для подачи порошка, трубки для подачи охлаждающей жидкости, при этом анодный узел содержит корпус и медное водоохлаждаемое сопло-анод, в котором выполнено отверстие, сообщающееся с инжектором для подачи порошка, а катод выполнен из лантанированного вольфрама с двухсторонними рабочими поверхностями и закреплен в цанге, сопло-анод содержит внутреннюю вставку, выполненную в виде вольфрамовой втулки, а к указанному корпусу анода прикреплена посредством резьбового соединения насадка для подачи нагретого инертного газа вдоль ее стенок через систему отверстий в ее концевой части в зону распространения плазменной струи.

При напылении теплозащитных покрытий (ТЗП) вначале необходимо нанести жаростойкий подслоем на основе М-кролей (Me-Cr-Al-Y(Yb, Ce, Hf), где Me-(Ni, Co, Fe)). Влияние реактивных элементов (Y - иттрия, Yb - иттербия, Ce - церия, Hf - гафния) на жаростойкость рассматриваемых сплавов обусловлено модифицирующим их воздействием на защитную оксидную пленку, а также изменением диффузионной подвижности атомов в сплаве. Для реализации защитных свойств оксидная пленка должна иметь: 1) низкую проницаемость для компонентов среды и сплава, что обеспечивает медленный рост ее толщины; 2) высокие физико-механические свойства, согласованные со свойствами металла-подложки, что необходимо для сохранения адгезии пленки в условиях частых теплосмен. Характерной особенностью окисления жаростойких сплавов металл-хром-алюминий является встречная диффузия через оксидную пленку алюминия по направлению к внешней границе пленки и кислорода в сплав. В результате образование новых зерен оксидов происходит как на поверхности пленки, так и внутри нее, т.е. на границах зерен уже существующих оксидов и на границе пленка-сплав. Наиболее значительным следствием внутреннего окисления в рассматриваемой пленке на жаростойких сплавах является увеличение ее объема, которое приводит к образованию сжимающих напряжений, главным образом на границе раздела пленка-сплав, и образованию несплошностей на границе раздела. Именно эти несплошности инициируют отслаивание пленки при последующих теплосменах. Увеличение жаростойкости сплавов при введении небольших добавок реактивных элементов - иттрия, иттербия, церия, гафния - связывают, в первую очередь, с резким ростом адгезионной прочности оксидной пленки при термоциклировании. Однако увеличение концентрации реактивного элемента ограничено процессами охрупчивания сплава и ростом скорости диффузии кислорода. Поэтому большинство МCrAlY сплавов имеют ограничения по содержанию кислорода до 0,05 % и в качестве основных методов нанесения покрытий представляется целесообразным использовать вакуумные методы - напыление в динамическом вакууме (VPS) или электронно-лучевое физическое осаждение в вакууме (PVD). Но поскольку это очень дорогое и редкое оборудование, для отработки технологий нанесения ТЗП в лабораторных условиях мы предлагаем использовать специальную насадку с контролируемой атмосферой, использо-

вание которой при напылении жаростойких подслоев способствует минимальному содержанию кислорода в зоне напыления.

Общий недостаток плазмотронов - интенсивное турбулентное перемешивание потока плазмы с окружающим холодным газом, что приводит к уменьшению скорости и снижению температуры частиц напыляемого материала. В результате возрастает вероятность появления недогретых частиц в зоне формирования покрытия. А также протекание неконтролируемых химических реакций с воздухом. Плазмотрон с насадкой позволяет улучшить защиту плазменного потока от воздействия атмосферы. Внутрь насадки вдоль ее стенок через систему отверстий в концевой части в насадку подается нагретый инертный газ (Ar). Воздух вокруг плазменной струи вытесняется, происходит дополнительное сжатие плазмы, в результате чего в покрытии снижается содержание кислорода и повышается эффективность осаждения материала.

В межэлектродной области происходят важнейшие физические процессы, которые оказывают большое влияние на общую характеристику сжатой дуги. Вследствие высокой температуры сжатой дуги и большой плотности тока электроды работают в очень тяжелых термических условиях. Температура поверхности электродов в местах локального контакта с плазмой может достигать 4000 К и выше. Поэтому материалы электродов должны обладать высокой эрозионной стойкостью, электропроводимостью, теплопроводностью и достаточной прочностью. Наиболее стойкими оказываются электроды, изготовленные из тугоплавких материалов (вольфрама, молибдена и др.) с присадками тория или лантана. Такие электроды имеют малую работу выхода, с них удается снимать большие плотности тока в течение длительного времени без заметной эрозии. Причина износа медных сопел заключается в том, что на электродах опорное пятно дуги перемещается скачкообразно, т.е. в течение некоторого времени остается неподвижным (10^{-4} - 10^{-5} с). Это время определяется скоростью смещения приэлектродного участка дуги относительно неподвижного пятна и процессом шунтирования промежутка дуга-электрод. Глубина проникновения температурного поля для меди при времени 10^{-4} с составляет 0,3 мм, а для вольфрама 0,19 мм. Поэтому применение вольфрамовой вставки позволит создать пару вольфрам-вольфрам в электродном узле и за счет высокой эрозионной стойкости, электропроводности, теплопроводности и достаточной прочности увеличит ресурс электродного узла в 2-2,5 раза, при увеличении производительности напыления из-за ужесточения режимов (увеличения значений тока и напряжения на 20-30 % по сравнению с электродной парой вольфрам-медь). Сущность изобретения поясняется фиг. 1 и 2.

На фиг. 1 изображен основной вид разработанного плазмотрона.

На фиг. 2 изображен вид сбоку разработанного плазмотрона.

Плазмотрон для нанесения покрытия содержит катодный 1 и анодный 2 узлы, разделенные изолятором 3. Катодный узел 1 состоит из катода 4, который с помощью цанги 5, закрепленной в цангодержателе 6, крепится в корпусе катодного узла 1. С помощью цанги 5 производится регулировка зазора между катодом 4 и соплом-анодом 7 в процессе эксплуатации плазмотрона по мере износа катода. Анодный узел 2 состоит из сопла-анода 7 и корпуса анода 8, вставки в виде вольфрамовой втулки 9, на корпусе анода крепится гайка 10, в сопле-аноде 7 и гайке 10 выполнено отверстие 11, в которое через инжектор 12 подается порошок, а к корпусу анода 8 через гайку 10 прикреплена на резьбе насадка 13 для подачи нагретого инертного газа вдоль ее стенок через систему отверстий 14 в ее концевой части. Работа плазмотрона происходит следующим образом. При подаче напряжения на электроды между соплом-анодом 7 и катодом 4 возникает электрическая дуга. Плазмообразующий газ-азот через трубку 15 и канал 16 в корпусе катодного узла 1 подается в разрядную камеру 17 плазмотрона, образованную катодом 4, изолятором 18 и соплом-анодом 7 с вольфрамовой втулкой 9, ионизируется и с большой скоростью выходит из сопла-анода 7, образуя струю плазмы, в которую подается порошковый материал через инжектор 12, расположенный в канале сопла-анода 7 и втулки 10. Для охлаждения

ВУ 21914 С1 2018.06.30

плазмотрона используется дистиллированная вода, которая через штуцер 19 и трубку 20 попадает в полость корпуса катодного узла 1 через отверстие в изоляторе 3, проходит в полости 21 корпуса анода 8 и охлаждает соло-анод 7. Затем через трубку 22 и штуцер 23 происходит слив нагретой воды. Внутрь насадки 13 вдоль ее стенок через систему отверстий 14 в концевой части в насадку подается нагретый инертный газ (Ar) через штуцер 24. Воздух вокруг плазменной струи вытесняется, происходит дополнительное сжатие плазмы, в результате чего в покрытии снижается содержание кислорода и повышается эффективность осаждения материала. В случае напыления подслоя порошков на основе никеля они равномерно распределяются по сечению плазменной струи и формируют качественное покрытие.

Пример.

На установке УПУ-3Д стандартной комплектации с порошковым питателем TWIN-10 производили испытания плазмотрона (прототип) и плазмотрона, разработанного авторами. В качестве рабочего газа использовали азот. Для получения обобщенной количественной информации о пористости плазменных покрытий использовали полуавтоматический анализатор изображения (MOP-AMO3, AutoScan.). Замеры микротвердости (ГОСТ 9450-76) выполняли в пяти поясах по длине поперечного сечения покрытия толщиной 0,5-0,6 мм. Применялся микротвердомер "Micromet-II" фирмы Buehler (Швейцария) с нагрузкой 100 г на индентор. Прочность сцепления определяли на отрывной машине "Instron". Количественные оценки параметров определялись как усредненные по пяти измерениям. Коэффициент использования материала определяли на стальных образцах размером 30×30×2 мм, прошедшего струйно-абразивную подготовку и имеющего в центре четко обозначенную зону для напыления размером 15×15 мм.

На первом этапе производили испытания плазмотронов на длительность непрерывной работы при токе - 500 А, напряжении - 70 В, расходе азота - 45 л/мин (стандартный режим напыления оксидной керамики). Оба плазмотрона проработали непрерывно в течении 25 ч (испытания были прерваны после интенсивных пульсаций параметров тока и напряжения плазмотрона-прототипа). После разборки были выявлены значительные изменения в геометрии катодно-анодного узла плазмотрона: значительное оплавление и вырывы внутри медного сопла-анода. Все это приводит к изменению заглубления электрода-катода в сопле и соответственно пульсации параметров плазмотрона. В геометрии катодно-анодного узла разработанного плазмотрона заметные изменения не были выявлены. На втором этапе на тех же режимах плазмотроны работали по схеме: работа в течении 30 мин, отключение, включение и т.д. (30 мин - технологическое время для напыления подслоя теплозащитного покрытия на турбинной). Плазмотрон-прототип вышел из строя через 7 ч работы (14 технологических циклов) - не происходил поджиг электрической дуги за счет сильного износа медного сопла-анода. Испытания разработанного плазмотрона прекратили после 14 ч работы (28 технологических цикла). На третьем этапе проводили испытания плазмотронов на КИМ (коэффициент использования материала) при токе - 500 А, напряжении - 72В, расходе азота - 45 л/мин дистанция напыления - 110 мм; фракция порошка - 40-63 мкм; расход порошка - 4кг/ ч (стандартный режим напыления подслоя порошка никель-хром-алюминий-иттрий). Характеристики покрытий из порошка никель-хром-алюминий-иттрий, напыленных на плазмотроне - прототипе и разработанном плазмотроне приведены в таблице.

Характеристики покрытий из порошка никель-хром-алюминий-иттрий

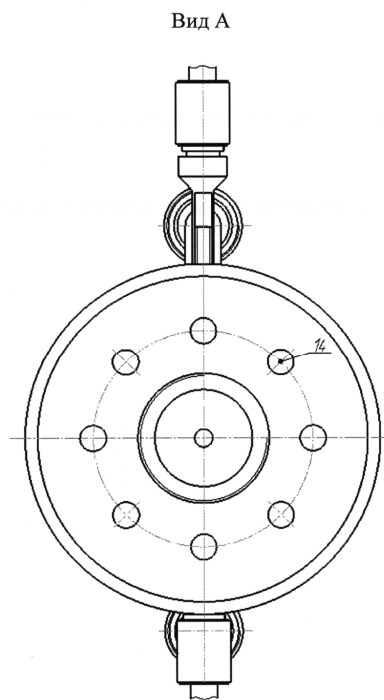
Плазмотрон	Прочность сцепления, МПа	Пористость, %	Коэффициент использования материала, %	Микротвердость, МПа
Прототип	38,1	2,5	68,0	4680
Разработанный	54,4	1,1	88,0	6084

BY 21914 C1 2018.06.30

Как видно из проведенных экспериментов, разработанный автором плазмотрон имеет более качественные характеристики плазменных подслоевых покрытий: увеличение прочности сцепления в 1,4 раза, коэффициент использования материала в 1,3 раза, микротвердости в 1,3 раза и уменьшения пористости в 2,3 раза.

Источники информации:

1. Борисов Ю.С., Харламов Ю.А., Сидоренко С.Л., Ардатовская Е.Н. Газотермические покрытия из порошковых материалов: Справочник. - Киев, 1987. - С. 78.
2. Патент РБ 14906, МПК С 23С 4/04, 2011.
3. Патент РБ на полезную модель 9423, МПК Н 05Н 1/00, 2013.



Фиг. 2