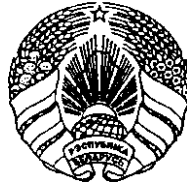


**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 6136

(13) С1

(51)⁷ С 23С 14/24

(54) **УСТРОЙСТВО ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ В ВАКУУМЕ**

(21) Номер заявки: а 20000563

(22) 2000.06.16

(46) 2004.06.30

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

(72) Авторы: Фролов Игорь Станиславович; Иващенко Сергей Анатольевич; Плахотнюк Василий Иванович; Макаревич Евгений Владимирович (ВУ)

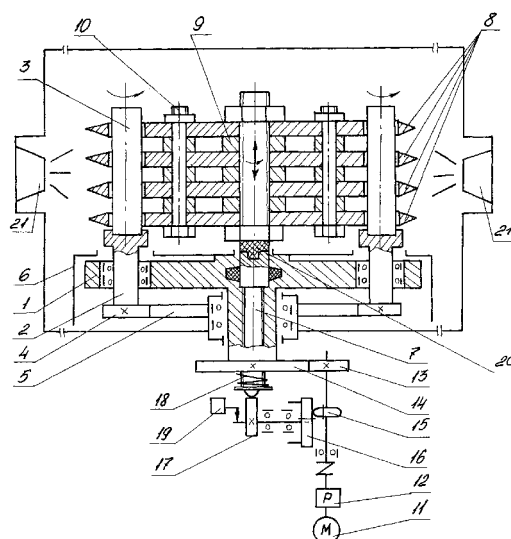
(73) Патентообладатель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(57)

1. Устройство для нанесения покрытий в вакууме, преимущественно переменного состава, содержащее испарители, закрепленные на валу держатель изделий с приводом вращения и блок масок с механизмом возвратно-поступательного перемещения вдоль вала, **отличающееся** тем, что блок масок выполнен в виде пакета дисков с соосными идентичными отверстиями для изделий, а механизм возвратно-поступательного перемещения блока масок выполнен в виде кулачкового механизма с лобовым вариатором, кинематически связанным с приводом вращения держателя.

2. Устройство по п. 1, **отличающееся** тем, что диски в пакете установлены параллельно с зазором, равным толщине диска, причем каждый диск от боковой поверхности до отверстий для изделий на расстояние 5-20 мм выполнен с двухсторонним скосом.

3. Устройство по п. 1 или 2, **отличающееся** тем, что пакет дисков соединен с валом держателя изделий с помощью электроизолирующей керамической вставки.



Фиг. 1

ВУ 6136 С1

BY 6136 C1

(56)

Данилин Б.С. Вакуумное нанесение тонких пленок. - М.: Энергия, 1967. - С. 267-275.

SU 699813 A1, 1995.

RU 2114931 C1, 1998.

RU 2114209 C1, 1998.

US 5133286 A, 1992.

US 5190590 A, 1993.

Изобретение относится к области напыления покрытий в вакууме ионно-плазменными методами и может быть использовано в различных отраслях машиностроения для создания защитных покрытий переменного состава на изделиях, подверженных повышенному износу.

Известно устройство для нанесения упрочняющих покрытий на инструменты из твердого сплава и быстрорежущих сталей в вакууме [1], содержащее установленные в вакуумной камере испарители, поворотные держатели обрабатываемых изделий планетарного типа и приводы их движения.

Недостатком данного устройства является невозможность нанесения покрытий переменного состава с участками из различных материалов на обрабатываемые изделия.

Прототипом заявляемого устройства является устройство для нанесения переменного по составу покрытия в вакууме [2], содержащее испарители, закрепленные на валу держатель изделий с приводом вращения и блок масок с механизмом возвратно-поступательного перемещения вдоль вала.

Недостатками прототипа являются невозможность нанесения покрытий переменного состава на наружные цилиндрические поверхности изделий, большая конструктивная сложность устройства, а также отсутствие механизмов согласования вращения поворотного держателя с работой испарителей и перемещением масок относительно обрабатываемых изделий.

Задачей, решаемой изобретением, является расширение технологических возможностей и повышение производительности устройства.

Поставленная задача достигается тем, что в устройстве для нанесения покрытий в вакууме, преимущественно переменного состава, содержащем испарители, закрепленные на валу держатель изделий с приводом вращения и блок масок с механизмом возвратно-поступательного перемещения вдоль вала, блок масок выполнен в виде пакета дисков с соосными идентичными отверстиями для изделий, а механизм возвратно-поступательного перемещения блока масок выполнен в виде кулачкового механизма с лобовым вариатором, кинематически связанным с приводом вращения держателя.

Диски в пакете установлены параллельно с зазором, равным толщине диска, причем каждый диск от боковой поверхности до отверстий для изделий на расстояние 5-20 мм выполнен с двухсторонним скосом. Пакет дисков соединен с валом держателя изделий с помощью электроизолирующей керамической вставки.

Конструкция блока масок в виде пакета жестко соединенных и установленных с зазором дисков с соосными отверстиями для обрабатываемых изделий, имеющего возможность перемещаться относительно этих изделий, обеспечивает послойное нанесение полосчатых покрытий на наружные цилиндрические поверхности изделий. При нанесении полос на всю обрабатываемую поверхность (сплошное покрытие) зазоры между дисками должны быть равны толщине самого диска. В противном случае покрытие получается либо несплошным, либо с взаимным перекрытием полос.

Механизм возвратно-поступательного перемещения блока масок, выполненный в виде кулачкового механизма с лобовым вариатором, кинематически связанного с приводом

ВУ 6136 С1

вращения держателя, обеспечивает как напыление однослойных полосчатых покрытий на цилиндрические изделия, так и послойное напыление полос покрытия. Толщина слоев в полосах покрытия может варьироваться в широких пределах, так как перемещение блока масок (пакета дисков) относительно обрабатываемых изделий может производиться через 1; 1,5; 2 и более оборотов поворотного держателя.

Механизм возвратно-поступательного перемещения блока масок в данном исполнении обеспечивает согласование импульсного режима работы испарителей с вращением поворотного держателя обрабатываемых изделий и перемещением блока масок (пакета дисков) относительно этих изделий, так как один оборот кулачка соответствует одному циклу напыления покрытия (напыление слоя покрытия при нижнем положении пакета дисков, перемещение пакета дисков в верхнее положение, напыление слоя покрытия при верхнем положении пакета дисков и перемещение пакета дисков в нижнее положение). Это позволяет полностью автоматизировать процесс нанесения полосчатых покрытий на наружные цилиндрические поверхности изделий, упростить конструкцию устройства за счет уменьшения количества приводов и улучшить качество наносимого покрытия.

Расположение отверстий для обрабатываемых изделий в дисках на расстоянии 5-20 мм от их края обеспечивает оптимальную производительность и качество напыляемого покрытия.

При расстоянии от края дисков до отверстий менее 5 мм происходит коробление тонких перемычек дисков, что искажает геометрию напыляемого покрытия.

При расстоянии от края дисков до отверстий более 20 мм значительно уменьшается производительность нанесения полосчатого покрытия, так как из-за затенения дисками рабочего пространства большая часть плазменного потока металла не может достичь обрабатываемых изделий.

Выполнение двухстороннего скоса на участке от боковой поверхности дисков до отверстий для обрабатываемых изделий обеспечивает повышение производительности напыления покрытия, так как увеличивает доступ металлической плазмы к обрабатываемым участкам изделий.

Установка пакета дисков на валу держателя изделий с помощью электроизолирующей керамической вставки также повышает производительность процесса напыления полосчатого покрытия. Это связано с тем, что по технологии ионно-плазменного напыления в процессе нанесения покрытия на поворотный держатель подается отрицательный потенциал порядка 100...1000 В. При этом более массивный с развитой наружной поверхностью пакет дисков будет иметь более сильное электрическое поле по сравнению с обрабатываемыми изделиями и поэтому большая часть металлической плазмы будет осаждаться на дисках и не доходить до обрабатываемых изделий. При выполнении пакета дисков электрически изолированным от поворотного держателя обрабатываемых изделий за счет керамической вставки положительно заряженные ионы металла будут в первую очередь притягиваться к отрицательно заряженным изделиям, увеличивая тем самым производительность процесса нанесения покрытия.

При сравнении предложенного технического решения с объектами аналогичного назначения, обнаруженными в процессе поиска, установлено, что в известных устройствах отсутствуют признаки, сходные с признаками, отличающими заявленное решение от прототипа. Следовательно, предложенное техническое решение обладает существенными отличиями.

Сущность изобретения поясняется следующими чертежами: на фиг. 1 показан общий вид устройства; на фиг. 2 - вид сверху на пакет дисков; на фиг. 3, 4 показана последовательность нанесения покрытия на устройстве, на фиг. 5 - профиль кулачка механизма перемещения пакета дисков.

ВУ 6136 С1

Устройство содержит поворотный держатель планетарного типа, состоящий из водила 1, в котором установлены держатели 2 обрабатываемых изделий 3. На нижней части держателей 2 закреплены шестерни-сателлиты 4, которые обкатываются по неподвижной центральной шестерне 5 и обеспечивают вращение обрабатываемых изделий 3 как вокруг своей оси, так и вокруг оси поворотного держателя. На водиле 1 закреплен защитный кожух 6, предохраняющий поворотный держатель от неблагоприятного воздействия металлической плазмы. На валу 7 поворотного держателя, связанного с водилом 1 за счет шлицевого соединения, жестко закреплены диски 8 с отверстиями для обрабатываемых изделий 3. Зазоры между дисками 8 задаются распорными втулками 9. Для обеспечения жесткости конструкции диски 8 дополнительно соединены в пакет болтами 10. Привод поворотного держателя состоит из электродвигателя 11, редуктора 12 и ведущей шестерни 13 поворотного держателя. Ведомая шестерня 14 поворотного держателя жестко закреплена на водиле 1. Механизм возвратно-поступательного перемещения пакета дисков 8 состоит из лобового вариатора, включающего ведущий диск 15, установленный на одном валу с ведущей шестерней 13 поворотного держателя, и ведомый диск 16 кулачка 17, обеспечивающего периодическое возвратно-поступательное перемещение вала 7 поворотного держателя с пакетом дисков 8 относительно обрабатываемых изделий 3. Силовое замыкание кулачка 17 с валом 7 создается пружиной 18. Время одного оборота вала кулачка 17 фиксируется датчиком 19. Для электрической изоляции пакета дисков 8 вал 7 поворотного держателя содержит керамическую вставку 20. С противоположных сторон устройства установлены испарители 21.

Устройство работает следующим образом.

Предварительно, на основе литературных или экспериментальных данных определяется число оборотов поворотного держателя, необходимое для напыления слоя покрытия каждого из двух материалов, и общее число оборотов поворотного держателя за цикл нанесения полосчатого покрытия. Для равномерного напыления покрытия на все обрабатываемые изделия число оборотов поворотного держателя при напылении слоя данного материала должно быть не менее одного. Перемещением ведущего диска 15 устанавливается необходимое передаточное отношение лобового вариатора исходя из условия, что один оборот кулачка 17 соответствует одному циклу нанесения полосчатого покрытия. Для этого предварительно определяется диаметр ведомого диска 16 (в точке контакта с ведущим диском 15) по формуле:

$$D_2 = Z_2 / K Z_1 D_1 \xi, \quad (1)$$

где D_2 - диаметр ведомого диска лобового вариатора, мм; D_1 - диаметр ведущего диска лобового вариатора, мм; Z_1 - число зубьев ведущей шестерки поворотного держателя; Z_2 - число зубьев ведомой шестерки поворотного держателя; ξ - коэффициент упругого скольжения; K - безразмерный коэффициент, $K = 2, 3, 4, \dots, n$.

Коэффициент K численно равен числу оборотов поворотного держателя за цикл нанесения полосчатого покрытия. Время подъема и опускания пакета дисков 8 в расчетах не учитывается, так как происходит за очень малый промежуток времени. Контроль времени одного оборота кулачка 17 в процессе настройки производится датчиком 19. Затем устанавливается время импульса и паузы каждого из испарителей 21. Далее одновременно с включением левого испарителя 21 включается привод поворотного держателя устройства. При этом вращение от электродвигателя 11 через редуктор 12 и шестерни 13 и 14 передается на водило 1. При вращении водила 1 шестерни-сателлиты 4 держателей 2, обкатываясь по неподвижной центральной шестерне 5, обеспечивают вращение обрабатываемых изделий 3 вокруг своей оси с одновременным вращением вокруг оси водила 1. Одновременно через лобовой вариатор вращение получает кулачок 17. После напыления слоя первого материала (фиг. 3) левый испаритель 21 выключается, а кулачок 17 перемещает вал 7

ВУ 6136 С1

поворотного держателя с пакетом дисков 8 в верхнее положение. В это время происходит откачка вакуумной камеры от остатков реакционного газа и паров металла. Затем в работу включается правый испаритель 21, который обеспечивает напыление слоя второго материала (фиг. 4), после чего испаритель 21 выключается, а вал 7 поворотного держателя с пакетом дисков 8 под действием кулачка 17 и пружины 18 возвращается в нижнее положение. Этот цикл нанесения слоев двух материалов повторяется такое число раз, которое необходимо для нанесения полосчатого покрытия заданной толщины.

В качестве примера конкретной реализации заявляемого устройства рассмотрим напыление полосчатого покрытия Cu-TiN на плунжера УЭД9.193 погружных электронасосов типа УЭДН-5.

Размеры рабочей части плунжеров $\varnothing 25 \times 112$ мм, материал - сталь 12ХНЗА ГОСТ 4543-71. Исходя из эксплуатационных требований толщина покрытия была принята равной 4,5 мкм. На рабочую часть плунжеров напылялось 14 чередующихся кольцевых полос шириной 8 мм: 7 полос TiN при нижнем положении пакета дисков и 7 полос Cu при верхнем положении пакета дисков. Следовательно, исходя из условия неперекрывания полос покрытия ход кулачкового механизма (вала поворотного держателя) равен ширине полосы (толщине диска) и составляет 8 мм.

Напыление покрытия производилось на экспериментальном образце устройства, смонтированном в вакуумной камере модернизированной установки ионно-плазменного напыления типа "Юнион". По экспериментальным данным производительность установки при напылении изделий на поворотном держателе планетарного типа составляет для TiN - 0,09 мкм/мин; для Cu - 0,06 мкм/мин. Толщина одного слоя покрытия для TiN и Cu была принята равной 0,09 мкм из условия обеспечения мелкозернистой структуры покрытия.

Стандартный привод поворотного держателя, которым комплектуется установка, обеспечивает при $Z_1 = 40$ и $Z_2 = 160$ частоту вращения $n = 2$ об/мин. Следовательно, для напыления слоя покрытия толщиной 0,09 мкм требуется для TiN - 1 мин напыления или два оборота поворотного держателя, т.е. $n_1 = 2$, а для Cu - 1,5 мин напыления или три оборота поворотного держателя, т.е. $n_2 = 3$. Таким образом, за один цикл нанесения покрытия число оборотов поворотного держателя $K = n_1 + n_2 = 2 + 3 = 5$. Зная параметры K , n_1 и n_2 производится расчет профиля и изготовление кулачка механизма перемещения масок.

Диаметр ведущего диска лобового вариатора конструктивно принят равным $D_1 = 100$ мм; коэффициент упругого скольжения $\xi = 0,995$. Тогда диаметр ведомого диска лобового вариатора (в точке контакта с ведущим диском) D_2 , определяемый по формуле (1), равен

$$D_2 = Z_2 / K Z_1 D_1 \xi = 160 / 5 * 40 * 100 * 0,995 = 80 \text{ мм.}$$

Далее путем перемещения ведущего диска лобового вариатора устанавливался требуемый диаметр ведомого диска D_2 . После этого на пульте управления установки набиралось время импульса и паузы каждого из двух испарителей. В описываемом примере оно составляло для левого испарителя (Ti) - импульс 1 мин, пауза 1,5 мин; для правого испарителя (Cu) - импульс 1,5 мин, пауза 1 мин. Итого время одного цикла - 2,5 мин.

После этого в заявляемом устройстве устанавливалось 8 плунжеров и производилось напыление покрытия Cu - TiN. Для достижения общей толщины покрытия 4,5 мкм при толщине одного слоя 0,09 мкм требовалось 50 циклов напыления. Общее время напыления составило $T = 2,5 * 50 = 125$ мин.

При расчете профиля кулачка (фиг. 5) механизма возвратно-поступательного перемещения пакета дисков необходимо обеспечить выполнение следующих условий:

- а) четкое фиксирование пакета дисков в крайних мертвых положениях, определяемых геометрией наносимого полосчатого покрытия на упрочняемых изделиях;
- б) заданные времена выстоя в крайних мертвых положениях пакета дисков, определяемое временами напыления полос различного материала в цикле работы устройства;

ВУ 6136 С1

в) перемещение пакета дисков на заданную величину (из одного крайнего положения в другое), определяемую геометрией полосчатого покрытия. Время перемещения должно быть минимальным.

Первое условие обеспечивается тем, что рабочий профиль кулачка на фазах верхнего и нижнего выстоя очерчивается постоянными радиусами. Величины радиусов выбираются из конструктивных условий (например, учитываются габариты устройства), а соотношение между ними определяется шириной полос наносимого покрытия. Так, в приводимом примере (при ширине полос 8 мм) один радиус кулачка был равен $R_1 = 30$ мм (при этом пакет дисков находится в нижнем положении и наносятся полосы TiN), а второй $R_2 = 38$ мм (при этом пакет дисков находится в верхнем положении и наносятся полосы Cu).

Второе условие обеспечивается расчетом фазовых углов верхнего и нижнего выстоя кулачка. Они зависят от времени напыления полос наносимого покрытия. Так, в приводимом примере время цикла составляло 2,5 мин (150 с). Из них на напыление TiN - 1 мин (60 с), на напыление Cu - 1,5 мин (90 с). Таким образом, угол, соответствующий напылению TiN (радиус кулачка 30 мм), $\alpha_1 = (360/150)*60 = 144^\circ$. Угол, соответствующий напылению Cu (радиус кулачка 38 мм), $\alpha_2 = (360/150)*90 = 216^\circ$.

Третье условие выполняется за счет равенства высоты подъема (опускания) пакета дисков и ширины напыляемых полос покрытия. В приводимом примере эта величина составляла 8 мм. Фазовые углы подъема и опускания кулачка (β) выбираются из условия минимального времени на подъем и опускание (1...3 с). В приводимом примере эта величина равна $\beta = 3^\circ$, что соответствует 1,25 с. Данным временем в цикле работы устройства можно пренебречь, так как оно значительно меньше времени напыления каждого из материалов. Углы выстоя при этом уменьшаются на величину β , т.е. $\alpha_{2к} = 213^\circ$ и $\alpha_{1к} = 141^\circ$, что не сказывается на качественных характеристиках и геометрии напыляемого покрытия. Характер переходной кривой выбирается из конструктивных соображений и условия недопущения заклинивания в кулачковом механизме.

Преимущества заявляемого устройства для нанесения покрытий в вакууме в сравнении с прототипом и другими известными устройствами заключаются в следующем.

Заявляемое устройство обеспечивает высокопроизводительное нанесение покрытий переменного состава и, в частности, полосчатых покрытий на наружные цилиндрические поверхности изделий. При этом могут напыляться как однослойные, так и многослойные полосчатые покрытия.

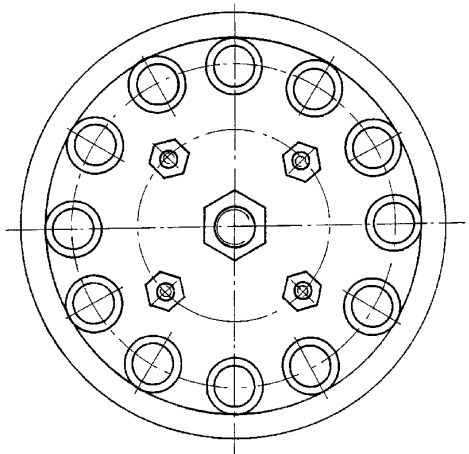
За счет уменьшения количества приводов и некоторых других деталей заявляемое устройство имеет меньшие габариты и более простую конструкцию, что позволяет снизить затраты на изготовление устройства и уменьшить его металлоемкость.

В заявляемом устройстве обеспечивается согласование импульсного режима работы испарителей с вращением поворотного держателя обрабатываемых изделий и перемещением блока масок относительно этих изделий, что позволяет автоматизировать процесс нанесения покрытий переменного состава на наружные цилиндрические поверхности изделий.

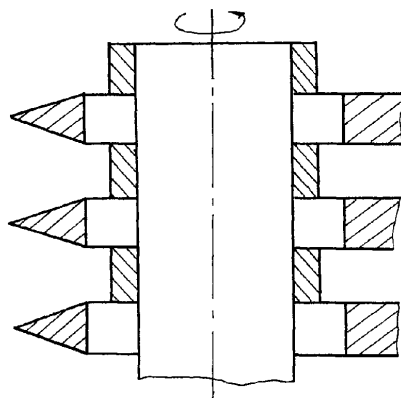
Источники информации:

1. Блинов В.П., Денисов В.Е., Симонов Б.А. Вакуумные ионно-плазменные установки для нанесения упрочняющих покрытий // Электротехника. - 1986. - № 10. - С. 62.
2. Данилин Б.Е. Вакуумное нанесение тонких пленок. - М: Энергия, 1967. - С. 267-275.

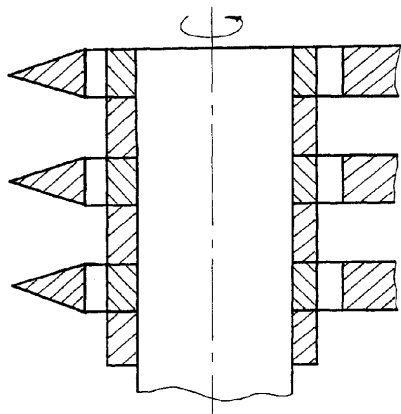
BY 6136 C1



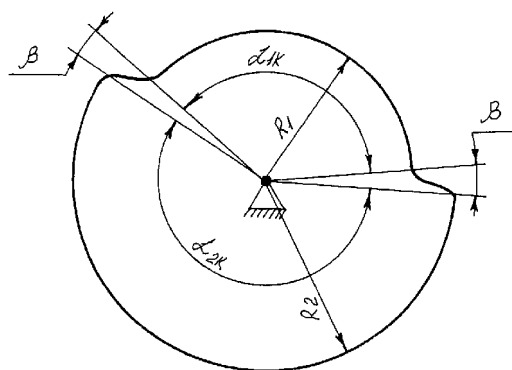
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5