



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2008117927/22, 04.05.2008

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
04.05.2008

(45) Опубликовано: 27.06.2009

Адрес для переписки:

450039, Республика Башкортостан, г.Уфа, ул.
Сельская-Богородская, 2, а/я 66, ООО
"НПП "Уралавиаспецтехнология"

(72) Автор(ы):

Смыслов Анатолий Михайлович (RU),
Смыслова Марина Константиновна (RU),
Мингажев Аскар Джамилевич (RU),
Дыбленко Юрий Михайлович (RU),
Селиванов Константин Сергеевич (RU),
Гордеев Вячеслав Юрьевич (RU),
Дыбленко Михаил Юрьевич (RU),
Мингажева Алиса Аскаровна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Общество с ограниченной
ответственностью "Научно-
производственное предприятие "
Уралавиаспецтехнология" (RU)

(54) УСТАНОВКА ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ВАКУУМНОЙ ИОННО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ

Формула полезной модели

1. Установка для комплексной вакуумной ионно-плазменной обработки, содержащая вакуумную камеру с расположенными в ней протяженными электродами-планарами электродуговых испарителей, источники питания вакуумно-дугового разряда, источник питания двухступенчатого вакуумно-дугового разряда, держатель изделий и оптически непрозрачный поворотный экран, расположенный между катодом электродугового испарителя и держателем изделий, по крайней мере, одно устройство для ионной имплантации, выполненное в виде источника питания потенциала смещения, дополнительный электрод, выполненный с возможностью подключения к положительному полюсу источника питания двухступенчатого вакуумно-дугового разряда, причем между катодами электродуговых испарителей и держателем изделий расположены оптически непрозрачные поворотные экраны по числу электродуговых испарителей, а дополнительный электрод выполнен в виде цилиндра вращения и расположен в центре вакуумной камеры, отличающаяся тем, что протяженные электроды-планары электродуговых испарителей выполнены с возможностью индивидуального переключения полярности с анода на катод и обратно, обеспечивающего превышение общей площади анодов над общей площадью катодов не менее чем в два раза, причем суммарная площадь рабочей поверхности электродов-планаров составляет 20%-90% от всей внутренней поверхности вакуумной камеры.

2. Установка для комплексной вакуумной ионно-плазменной обработки по п. 1, отличающаяся тем, что электроды-планары выполнены с одинаковыми размерами и

формой, причем высота, ширина и толщина используемых электродов-планаров выбирается соответственно в диапазонах: длина - от 80 до 3000 мм, ширина - от 30 до 500 мм, толщина - от 5 до 100 мм.

3. Установка для комплексной вакуумной ионно-плазменной обработки по п.2, отличающаяся тем, что электроды-планары, подключенные как катоды, имеют по обе стороны от них по две соседние пластины-планары, подключенные как аноды, причем все электроды-планары выполнены с возможностью индивидуального переключения полярности с анода на катод и обратно с обеспечением подключения на каждый электрод-планар с полярностью катода по два соседних электрод-планара с полярностью анода.

4. Установка для комплексной вакуумной ионно-плазменной обработки по любому из пп.1-3, отличающаяся тем, что в качестве материала пластины-планара используют следующие металлы: Ti, Zr, Hf, Cr, Al, La, Eu и/или сплав на основе указанных металлов.

5. Установка для комплексной вакуумной ионно-плазменной обработки по любому из пп.1-3, отличающаяся тем, что электроды-планары выполнены из следующих металлов: Ti, Zr, Hf, Cr, V, Nb, Ta, Mo, W, Al, La, Eu и/или сплавов на основе указанных металлов.

6. Установка для комплексной вакуумной ионно-плазменной обработки по любому из пп.1-3, отличающаяся тем, что электроды-планары выполнены из следующих металлов: Ni, Co, Cr, Al, Y и/или сплавов на основе указанных металлов.

7. Установка для комплексной вакуумной ионно-плазменной обработки по любому из пп.1-3, отличающаяся тем, что вакуумная камера выполнена в виде полого цилиндра вращения высотой 1500...3500 мм и диаметром 800...2500 мм.

8. Установка для комплексной вакуумной ионно-плазменной обработки по любому из пп.1-3, отличающаяся тем, что вакуумная камера выполнена с возможностью присоединения дополнительных секций вакуумной камеры.

9. Установка для комплексной вакуумной ионно-плазменной обработки по любому из пп.1-3, отличающаяся тем, что держатель изделий состоит из отдельных электроизолированных секций держателя изделий по числу электродуговых испарителей, выполненных с возможностью подключения как к независимым отрицательным выводам источника питания потенциала смещения, так и к положительному полюсу источника питания двухступенчатого вакуумно-дугового разряда независимо друг от друга.

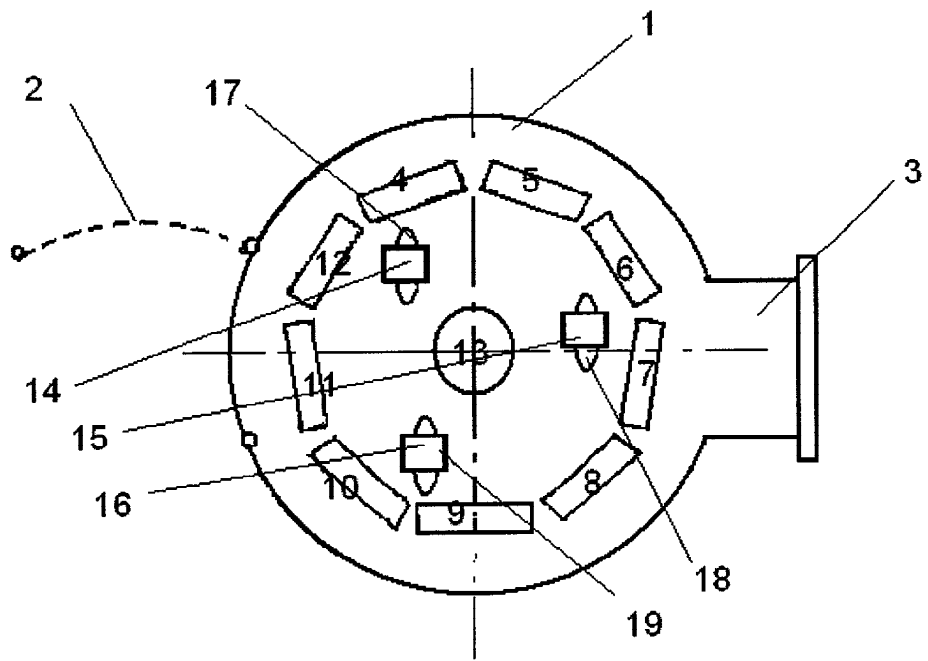
10. Установка для комплексной вакуумной ионно-плазменной обработки по любому из пп.1-3, отличающаяся тем, что держатель изделий выполнен с возможностью установки в него наборов изделий.

11. Установка для комплексной вакуумной ионно-плазменной обработки по любому из пп.1-3, отличающаяся тем, что электроды-планары расположены по периферии вакуумной камеры установки.

12. Установка для комплексной вакуумной ионно-плазменной обработки по любому из пп.1-3, отличающаяся тем, что электроды-планары расположены в центральной части вакуумной камеры установки.

13. Установка для комплексной вакуумной ионно-плазменной обработки по любому из пп.1-3, отличающаяся тем, что электроды-планары расположены в центральной части и по периферии вакуумной камеры установки.

RU 84019 U1



RU 84019 U1

Полезная модель относится к вакуумной ионно-плазменной технологии и может быть применено для повышения эксплуатационных свойств изделий, в частности длинномерных изделий, например лопаток паровых турбин.

5 Для повышения эксплуатационных свойств изделий (твердости, износостойкости, эрозионной стойкости и пр.) используют устройства для химико-термической обработки, в частности установки для ионного азотирования [Лахтин Ю.М., Арзамасов Б.Н. Химико-термическая обработка металлов. - М.: Металлургия, 1985, С.177-181]. Установка для ионного азотирования содержит вакуумную камеру с
10 расположенными в ней катодами, источники питания, держатель изделий. Обработку изделий в таких установках осуществляют путем выдержки их в среде ионизированного рабочего газа при высокой температуре.

Недостатком этих устройств является невысокая эффективность процесса модификации поверхности изделий вследствие низкой энергии частиц рабочего газа.
15 При химико-термической обработке для получения необходимой концентрации легирующего элемента в поверхности изделий необходимо длительное выдерживание изделий в среде рабочего газа при высокой температуре. Это является причиной низкой производительности процесса. При этом происходит образование хрупких
20 крупнодисперсных структурных составляющих, что снижает механические и эксплуатационные свойства изделий. Также недостатком является невозможность внедрения в поверхность элементов в количестве, превышающем их предел растворимости в материале изделий.

Для повышения эксплуатационных свойств изделий также используют установки для ионной имплантации [Обеспечение эксплуатационных свойств лопаток компрессора из титановых сплавов путем ионного модифицирования поверхности на
25 установке «Вита» / Смыслов А.М., Гусева М.И., Смылова М.К. и др. // Авиационная промышленность. - 1992. - №5. - С.24-26], содержащие вакуумную камеру с
30 установленными на ней устройствами для ионной имплантации, источники питания, держатель изделий. Обработку изделий в таких установках осуществляют следующим образом. Обрабатываемые изделия размещают в вакуумной камере установки, затем в ней создают вакуум и напускают в нее рабочий газ. Затем производят бомбардировку изделий ускоренными ионами рабочего газа, которые внедряются в поверхность
35 изделий.

Установки для модификации поверхности путем ионной имплантации позволяют улучшать прочностные характеристики изделий без снижения пластичности, благодаря чему повышают сопротивление усталости изделий.

40 Недостатком таких установок является ограниченность технологических возможностей, вследствие чего не удается получить высокие эксплуатационные свойства обрабатываемых деталей.

Для повышения эксплуатационных свойств изделий также используют установки для нанесения вакуумных ионно-плазменных покрытий [Установка «Булат-6». Паспорт Ф.-10000-02-ПС, 1984], содержащие вакуумную камеру с расположенными в
45 ней катодами электродуговых испарителей (ЭДИ), источники питания вакуумно-дугового разряда (ВДР), держатель изделий. Эти установки позволяют наносить на изделия покрытия из металлов и их соединений с целью защиты поверхности от
50 коррозии, эрозии, износа и т.п. Процесс нанесения покрытия в таких установках осуществляют следующим образом. Обрабатываемые изделия размещают в вакуумной камере установки, затем в ней создают вакуум и напускают в нее рабочий газ. Зажигают ВДР между катодом и анодом

ЭДИ. При протекании ВДР в вакуумной камере образуется металло-газовая плазма, содержащая ионы рабочего газа, ионы металла катода ЭДИ, электроны и нейтральные частицы. Нанесение покрытия производят путем осаждения на изделия ионов металла и ионов рабочего газа.

5 Недостатком таких установок является ограниченность технологических возможностей, вследствие чего не удается получить высокие эксплуатационные свойства обрабатываемых деталей.

10 Наиболее близкой по технической сущности к предлагаемой установке является установка для нанесения покрытий [Патент РФ №2022056, МКИ С23С 14/32, 30.10.94], содержащая вакуумную камеру с расположенными в ней катодами электродуговых испарителей, источники питания ВДР, источник питания двухступенчатого вакуумно-дугового разряда (ДВДР), держатель изделий и оптически непрозрачный поворотный экран, расположенный между держателем изделий и одним из катодов.

15 Эта установка позволяет повышать эксплуатационные свойства изделий путем комплексной обработки, включающей химико-термическую обработку и нанесение покрытия в одном цикле.

Обработку изделий в данной установке осуществляют следующим образом.

20 Обрабатываемые изделия размещают в вакуумной камере, затем создают в ней вакуум. При этом оптически непрозрачный поворотный экран закрывает катод ЭДИ. В камеру напускают рабочий газ (азот), зажигают ДВДР между катодом ЭДИ, закрытым оптически непрозрачным поворотным экраном, и катодом ЭДИ, расположенным напротив него, который в данном случае служит анодом ДВДР, и генерируют газовую плазму. Изделия подвергают химико-термической обработке (азотированию) путем выдержки их в газовой плазме при рабочей температуре. Для нагрева изделий до рабочей температуры к ним прикладывают положительный потенциал от источника питания. При этом

25 изделия служат анодом ДВДР и происходит их нагрев электронами металло-газовой плазмы.

30 После проведения процесса химико-термической обработки производят нанесение покрытия. Для этого оптически непрозрачный поворотный экран отводят в сторону, открывая путь потоку металлической плазмы, генерируемой катодом. При этом в вакуумной камере образуется металло-газовая плазма, содержащая ионы рабочего газа, ионы металла катода ЭДИ, электроны и нейтральные частицы. Нанесение покрытия производят путем осаждения на изделия ионов металла и ионов рабочего газа.

40 Установка-прототип имеет ограниченные технологические возможности и не позволяет качественно обрабатывать изделия (особенно изделия больших размеров, к которым относят, например, лопатки паровых турбин с областью подлежащей обработке размером порядка 1200×200 мм). Кроме того, установка-прототип имеет низкую производительность и высокий расход энергии и материалов. Это объясняется следующими причинами:

- несовершенством метода модификации поверхности;
- неравномерностью распределения плазмы внутри камеры (что снижает однородность обработки поверхности, особенно длинномерных изделий);
- 50 - низкая производительность процесса генерации плазмы;
- неэффективностью использования плазмы при модификации поверхности;
- неравномерностью толщины покрытия по длине изделия.

Однако основным недостатком, как установки-прототипа, так и других известных

установок, является чрезвычайно высокий расход распыляемого материала, образующего покрытие. Это объясняется, в

5 частности тем, что значительная доля испаряемого материала осаждается на внутреннюю поверхность вакуумной камеры установки загрязняя ее и требуя
5 дополнительных работ по удалению продуктов распыления. Последнее обстоятельство также способствует ухудшению процесса обработки из-за нежелательных загрязнений вакуумной камеры.

Техническим результатом полезной модели является повышение экономичности
10 процесса обработки за счет снижения расхода распыляемого материала и снижения трудоемкости подготовки установки к работе после предыдущей обработки.

Технический результат достигается тем, что предлагаемая установка для
15 комплексной вакуумной ионно-плазменной обработки, содержащая вакуумную камеру с расположенными в ней протяженными электродами-планами электродуговых испарителей, источники питания вакуумно-дугового разряда, источник питания двухступенчатого вакуумно-дугового разряда, держатель изделий и оптически непрозрачный поворотный экран, расположенный между катодом электродугового испарителя и держателем изделий, по крайней мере одно, устройство
20 для ионной имплантации, выполненное в виде источника питания потенциала смещения, дополнительный электрод, выполненный с возможностью подключения к положительному полюсу источника питания двухступенчатого вакуумно-дугового разряда, причем между катодами электродуговых испарителей и держателем изделий расположены оптически непрозрачные поворотные экраны по числу электродуговых
25 испарителей, а дополнительный электрод выполнен в виде цилиндра вращения и расположен в центре вакуумной камеры, в отличие от прототипа, протяженные электроды-планы электродуговых испарителей, выполнены с возможностью индивидуального переключения полярности с анода на катод и обратно,
30 обеспечивающего превышение общей площади анодов над общей площадью катодов не менее

чем в два раза, причем суммарная площадь рабочей поверхности электродов-планаров составляет 20%...90% от всей внутренней поверхности вакуумной камеры.

Технический результат достигается также тем, что электроды-планы выполнены
35 с одинаковыми размерами и формой, причем высота, ширина и толщина используемых электродов-планаров выбирается, соответственно в диапазонах: длина - от 80 мм до 3000 мм, ширина - от 30 до 500 мм, толщина - от 5 до 100 мм.

Технический результат достигается также тем, что электроды-планы,
40 подключенные как катоды, имеют, по обе стороны от них, по две соседние пластины-планы, подключенные как аноды, причем все электроды-планы выполнены с возможностью индивидуального переключения полярности с анода на катод и обратно, с обеспечением подключения на каждый электрод-планар с полярностью катода по два соседних электрод-плана с полярностью анода.

Технический результат достигается также тем, что электроды-планы выполнены
45 из следующих металлов: Ti, Zr, Hf, Cr, V, Nb, Ta, Mo, W, Al, La, Eu и/или сплавов на основе указанных металлов.

Технический результат достигается также тем, что электроды-планы выполнены
50 из следующих металлов: Ni, Co, Cr, Al, Y и/или сплавов на основе указанных металлов.

Технический результат достигается также тем, что вакуумная камера выполнена в виде полого цилиндра вращения высотой 1500...3500 мм и диаметром 800...2500 мм.

Технический результат достигается также тем, что вакуумная камера выполнена с

возможностью присоединения дополнительных секций вакуумной камеры.

Технический результат достигается также тем, что держатель изделий состоит из отдельных электроизолированных секций держателя изделий по

5 числу электродуговых испарителей, выполненных с возможностью подключения как к независимым отрицательным выводам источника питания потенциала смещения, так и к положительному полюсу источника питания двухступенчатого вакуумно-дугового разряда независимо друг от друга.

10 Технический результат достигается также тем, что могут использоваться следующие варианты исполнения установки: держатель изделий выполнен с возможностью установки в него наборов изделий; электроды-планары расположены: либо по периферии вакуумной камеры установки, либо в центральной части вакуумной камеры установки, либо в центральной части и по периферии вакуумной

15 камере установки. Перечисленные существенные признаки предлагаемой полезной модели позволяют достичь поставленного технического результата - повысить экономичность процесса обработки за счет снижения расхода распыляемого материала и снизить трудоемкость подготовки установки к работе после предыдущей обработки.

20 Достижение технического результата объясняется следующим.

Повышение коэффициента использования испаряемого материала катодов происходит за счет повторного испарения (реиспарения) наносимого материала. При значительной площади электродов-планаров (до 90% от всей внутренней поверхности

25 вакуумной камеры установки), поочередное их использование, то в качестве анодов, то - в качестве катодов, позволяет улавливать часть испаряемого материала путем его осаждения на рабочие поверхности электродов-планаров, подключенных как аноды. Затем, осажденный на поверхность электродов-планаров, имеющих полярность анодов материал, реиспаряется при переключении их на режим работы катодов.

30 Поскольку большая часть испаренного с катодов материала осаждается либо на поверхность деталей, либо на поверхность электродов-планаров, имеющих полярность анодов, то достигается два основных эффекта: во-первых, повышается коэффициент использования материала и, во-вторых, происходит меньшее загрязнение внутренней поверхности вакуумной

35 камеры установки. Меньшее загрязнение внутренней поверхности вакуумной камеры позволяет повысить качество обработки изделий за счет обеспечения более стабильных условий обработки деталей.

Предлагаемая установка снабжена устройством для ионной имплантации.

40 Преимущество ионной имплантации перед химико-термической обработкой, в частности азотированием, - в большей глубине модифицированного слоя за счет повышенной энергии имплантируемых частиц и радиационно-стимулируемой диффузии [Гусева М.И. Ионная имплантация в полупроводниковые материалы // Итоги науки и техники: серия Физические основы лазерной и пучковой технологии.

45 Т.5. - Ионно-пучковая технология. - М. - 1989]. При ионной имплантации реализуются не только твердорастворный и дисперсионный механизмы упрочнения, но и дислокационный. При этом возникают эффекты дальнего действия, за счет чего толщина упрочненного слоя превышает толщину слоя с измененным химическим составом. Кроме того, при ионной имплантации возможно внедрение в поверхность

50 легирующих элементов в количестве, превышающем их предел растворимости в материале изделия.

В отличие от химико-термической обработки, ионная имплантация не требует

длительного выдерживания изделий при высокой температуре и не приводит к огрублению структуры материала. Поэтому ионная имплантация оказывает упрочняющее воздействие на поверхность, не снижая пластичности, что позволяет повысить сопротивление усталости изделий, в частности предел выносливости с концентратором напряжений, в то время как после химико-термической обработке предел выносливости с концентратором напряжений как правило снижается.

Еще одним преимуществом ионной имплантации перед химико-термической обработкой является эффективная активация поверхности, что улучшает условия нанесения на нее покрытия, повышает их адгезию. При этом физико-химическое состояние материала плавно изменяется по глубине поверхности, создаются благоприятные сжимающие остаточные напряжения в поверхностном слое.

Предлагаемая установка позволяет, в отличие от прототипа, проводить в одном цикле обработки не только термическую обработку, химико-термическую обработку и нанесение покрытия, но и ионную имплантацию, а также различные сочетания указанных видов обработки, что обеспечивает качественно новый уровень свойств поверхности изделий - высокий уровень твердости, износостойкости, эрозионной и коррозионной стойкости, сопротивления усталости и др. Предлагаемая установка позволяет получать новые физические и механические свойства поверхности, создавать полупроводниковые слои, многослойные композиции с различными свойствами слоев и т.п.

Наиболее технологичным устройством для ионной имплантации является источник питания потенциала смещения. Источник питания потенциала смещения представляет собой высоковольтный источник питания, выполненный с возможностью подачи отрицательного потенциала достаточной для ионной имплантации величины на обрабатываемые изделия. Ионную имплантацию с помощью этого устройства осуществляют путем подачи на изделия отрицательного потенциала достаточной для ионной имплантации величины, при этом положительные ионы плазмы ускоряются в электрическом поле изделий и бомбардируют поверхность изделий, внедряясь в нее.

В установке-прототипе в качестве анода ДВДР используют один из катодов ЭДИ, при этом только один из ЭДИ снабжен оптически непрозрачным поворотным экраном. Это приводит к низкой

производительности процесса генерации газовой плазмы и неравномерности ее распределения в вакуумной камере. В вакуумной камере предлагаемой установки расположен дополнительный электрод, выполненный с возможностью подключения к положительному полюсу источника питания ДВДР, причем все ЭДИ снабжены оптически непрозрачными поворотными экранами. Это позволяет значительно повысить производительность процесса генерации газовой плазмы за счет одновременного горения нескольких ДВДР при использовании в качестве анода ДВДР дополнительного электрода. Также это обеспечивает более равномерное распределение плазмы в вакуумной камере.

Дополнительный электрод может быть выполнен в виде вертикального цилиндра вращения, расположенного в центре вакуумной камеры. Цилиндрическая форма дополнительного электрода и расположение его в центре вакуумной камеры обеспечивают равномерное распределение плазмы в вакуумной камере, устойчивость горения разряда на его поверхности, наиболее эффективное охлаждение, позволяют максимально использовать внутреннее пространство вакуумной камеры. Благодаря равномерному распределению плазмы во внутреннем объеме вакуумной камеры становится возможной качественная обработка изделий без их вращения.

Для качественной обработки изделий необходимо, чтобы рабочая зона вакуумной камеры (зона обработки) имела размер не меньший, чем область изделий, подлежащая обработке. Для обеспечения большой зоны обработки катоды ЭДИ могут быть выполнены в виде пластин длиной $L=80...3000$ мм, шириной $B=30...500$ мм, толщиной $T=5...100$ мм. При этом для качественной обработки длинномерных изделий, в частности лопаток паровых турбин, оптимальными размерами катодов ЭДИ являются: длина $L=1000...1800$ мм, ширина $B=100...200$ мм. Оптимальная толщина катодов

ЭДИ определяется из условий горения разряда на поверхности катода и условий его охлаждения и составляет $T=20...40$ мм.

Вакуумная камера предлагаемой установки может быть выполнена в виде полого цилиндра вращения, в частности расположенного вертикально. Это обеспечивает оптимальное использование внутреннего объема вакуумной камеры, технологичность ее изготовления и обслуживания и равномерность распределения плазмы во внутреннем пространстве вакуумной камеры.

Высота и внутренний диаметр вакуумной камеры должны быть достаточными для свободного размещения ЭДИ, оптически непрозрачных поворотных экранов, держателя изделий с изделиями, дополнительного электрода и других элементов и устройств установки. Исходя из обеспечения возможности обработки длинномерных изделий, в частности лопаток паровых турбин, оптимальные размеры вакуумной камеры: высота $H=1500...3500$ мм, внутренний диаметр $D=800...2500$ мм.

Вакуумная камера предлагаемой установки может быть выполнена с возможностью присоединения дополнительных секций вакуумной камеры. Это обеспечивает возможность изменения размеров камеры для их оптимизации в зависимости от размеров обрабатываемых изделий. Для обработки изделий большого размера вакуумную камеру увеличивают путем присоединения дополнительных секций вакуумной камеры. При обработке изделий меньшего размера вакуумную камеру уменьшают. При этом за счет уменьшения внутреннего объема вакуумной камеры сокращается время откачки и снижается расход материалов.

В установке-прототипе обработку изделий осуществляют электронами плазмы (нагрев) и ионами (химико-термическая обработка) последовательно. При обработке изделий электронами держатель изделий

подключают к положительному полюсу источника питания ДВДР, при этом изделия выполняют роль анода ДВДР. При обработке изделий ионами в качестве анода ДВДР используют катод ЭДИ. Недостаток этой схемы в неэффективном использовании плазмы, в результате чего снижается производительность, повышается расход энергии и материалов: при обработке электронами используют только электронную компоненту плазмы, а ионная не используется; при обработке ионами используют только ионную компоненту плазмы, а электронная не используется.

С целью повышения эффективности использования плазмы и повышения производительности установки держатель изделий предлагаемой установки состоит из отдельных электроизолированных секций держателя изделий по числу ЭДИ, выполненных с возможностью подключения с помощью переключателей как к независимым отрицательным выводам источника питания потенциала смещения, так и к положительному полюсу источника питания ДВДР независимо друг от друга.

Это дает возможность одновременной обработки электронами плазмы одной группы изделий (или одного изделия) и обработки ионами плазмы другой группы изделий. При этом одновременно используется как электронная, так и ионная

компоненты плазмы, что снижает расход энергии и материалов. Изделия, установленные в секции держателя изделий, подключенные к положительному полюсу источника питания ДВДР служат анодом ДВДР и подвергаются эффективному нагреву электронами. Изделия, установленные в секции держателя изделий, подключенные к отрицательным выводам источника питания потенциала смещения подвергаются ионной имплантации. Изделия, установленные в секции держателя изделий, не подключенные ни к одному из источников, подвергаются химико-термической обработке.

Держатель изделий предлагаемой установки может быть выполнен с возможностью установки в него наборов изделий. Таким образом за один цикл возможна обработка вместо одного длиномерного изделия нескольких изделий малого размера. Это обеспечивает высокую производительность установки при обработке изделий малого размера.

Сущность полезной модели поясняется чертежом. На фигуре показана схема предлагаемой установки.

Установка для комплексной вакуумной ионно-плазменной обработки содержит вакуумную камеру 1, выполненную в виде полого цилиндра вращения, имеющую дверь 2 и откачную трубу 3. На стенках вакуумной камеры 1 установлены электроды-планары 4-12, выполненные с возможностью функционирования, либо как катоды 6, 9, 12, либо, как аноды 4, 5, 7, 8, 10, 11. При этом, электроды-планары 4-12, в процессе работы установки могут изменять полярность, переключаясь с режимов катодов на аноды и обратно. Электроды-планары 4-12 выполнены в виде пластин длиной L и шириной B. В центре вакуумной камеры 1 установлен дополнительный электрод 13 в виде цилиндра вращения. Секции держателя изделий 14, 15, 16 имеют возможность вращательного движения как вокруг центра камеры 1, так и вокруг собственной оси.

Дополнительный электрод 13 имеет возможность подключения к положительному полюсу источника питания ДВДР. Секции держателя изделий 14, 15, 16 имеют возможность независимого друг от друга подключения как к независимым отрицательным выводам источника питания потенциала смещения, так и к положительному полюсу источника питания ДВДР. Вакуумная камера 1 может иметь возможность присоединения дополнительных секций вакуумной камеры.

Установка для комплексной вакуумной ионно-плазменной обработки работает следующим образом. Обрабатываемые изделия 17, 18, 19 устанавливаются в секции держателя изделий 14, 15, 16 затем закрывают

дверь 2 вакуумной камеры 1, создают в вакуумной камере 1 вакуум, включают привод держателя изделий.

Затем производят обработку изделий одним из следующих способов: нагрев, химико-термическая обработка, ионная имплантация, нанесение покрытия, или их сочетанием.

Нагрев изделий осуществляют с целью их термической обработки или для подготовки их к последующей обработке, например нанесению покрытия. Нагрев изделий в предлагаемой установке осуществляют следующим образом. В вакуумную камеру 1 напускают рабочий газ. электроды-планары 4-12 закрывают поворотными оптически непрозрачными экранами. Зажигают ВДР между электродами-планарами 6, 9, 12, имеющими полярность катодов ЭДИ и вакуумной камерой 1 или электродами-планарами 4, 5, 7, 8, 10, 11, имеющими полярность анодов ВДР. Затем подключают изделия к положительному полюсу источника питания ДВДР и зажигают ДВДР между электродами-планарами 6, 9, 12, имеющими полярность катодов и изделиями 17,

18, 19. При этом изделия, которые служат анодом ДВДР интенсивно нагреваются электронами плазмы ДВДР.

Химико-термическую обработку в предлагаемой установке осуществляют следующим образом. Осуществляют нагрев изделий вышеописанным способом, затем
5 подключая дополнительный электрод 13 к положительному полюсу источника питания ДВДР, зажигают ДВДР между катодами ЭДИ (электродами-планарами имеющими полярность катодов) 6, 9, 12, и дополнительным электродом 13, являющимся анодом ДВДР. В результате горения ДВДР в камере образуется газовая
10 плазма, содержащая ионы рабочего газа, электроны и нейтральные частицы. Изделия выдерживают в газовой плазме, при этом происходит диффузионное внедрение ионов и атомов рабочего газа в поверхность изделий.

Ионную имплантацию в предлагаемой установке осуществляют следующим образом. В вакуумную камеру 1 напускают рабочий газ. Катоды ЭДИ 6, 9, 12,
15 закрывают оптически непрозрачными поворотными экранами. Зажигают ВДР между катодами ЭДИ 6, 9, 12 и вакуумной камерой 1, являющейся анодом ВДР или электродами-планарами 4, 5, 7, 8, 10, 11, имеющими полярность анодов ВДР. Подключая дополнительный электрод 13 к положительному полюсу источника
20 питания ДВДР, зажигают ДВДР между катодами ЭДИ и дополнительным электродом 13, являющимся анодом ДВДР. В результате горения ДВДР в камере образуется газовая плазма, содержащая ионы рабочего газа, электроны и нейтральные частицы. На изделия, подвергаемые ионной имплантации, подают отрицательный потенциал достаточной для ионной имплантации величины от
25 источника питания потенциала смещения. При этом ионы плазмы рабочего газа ускоряются в электрическом поле изделий и внедряются в их поверхность.

Нанесение покрытия в предлагаемой установке осуществляют следующим образом. В вакуумную камеру 1 напускают рабочий газ. Electroды-планары 6, 9, 12, имеющие
30 полярность катодов ЭДИ открывают, отводя в сторону оптически непрозрачные поворотные экраны. Зажигают ВДР между электродами-планарами 6, 9, 12 (катодами) и электродами-планарами 4, 5, 7, 8, 10, 11, имеющими полярность анодов ВДР. В результате горения ВДР в камере образуется металло-газовая плазма, содержащая ионы рабочего газа, ионы металла катодов ЭДИ, электроны и нейтральные частицы.
35 На изделия 17, 18, 19 подают отрицательный потенциал от источника питания потенциала смещения. При этом ионы металла ускоряются в электрическом поле изделий и осаждаются на их поверхности, образуя покрытие. При использовании в качестве рабочего газа активного газа, ионы рабочего газа соединяются с ионами
40 металла, при этом образуется покрытие из соединений металла и неметалла.

Для нанесения покрытия используют электроды-планары (катоде), работающие в режиме возвратно-поступательного движения области катодного пятна (зоны
испарения) под воздействием электромагнитного поля, возникающего в результате протекания тока по катоду. Возвратно-поступательное движение области катодного
45 пятна обеспечивается переключением контактов на концах электрода-планара (катода). Испарение материала катода происходит за счет дуги, возбужденной между расположенными по периферии чередующимися электродами-планарами, часть из которых работает в определенный момент как катоды, а часть - как аноды.
50 Electroды-планары образуют достаточно развитую поверхность внутри камеры (до 90% внутренней площади камеры). Причем, при нанесении покрытия одни электроды-планары выполняют функцию катодов, другие - анодов, при этом площадь электродов-планаров образующих аноды, по крайней мере в два раза превышает

площадь электродов-планаров, образующих катоды. Далее, в процессе нанесения покрытия, часть электродов-планаров, выполнявших функцию катодов переключаются и становятся анодами, а часть электродов-планаров, выполнявших функцию анодов переключаются и становятся катодами. В результате этого, материал нанесенный на электроды-планары, служившими анодами при переключении их на режим катодов, начинает реиспаряться. Такое многократное реиспарение наносимого материала позволяет в значительной степени повысить коэффициент использования материала при формировании покрытий.

Наиболее просто и целесообразно выполнять одинаковые электроды-планары, размещая их таким образом, чтобы около одного электрода-планара работающего в режиме катода, находились два электрода-планара работающих в режиме анода, причем они приходились на этот катод. Другими словами, схема подключения катодов (K_i) и анодов (A_i) (по замкнутому контуру) может быть следующей: «...- A_1 - K_1 - A_1 - A_2 - K_2 -

A_2 - A_3 - K_3 - A_3 -...- A_n - K_n - A_n -...- A_1 - K_1 - A_1 -...» (сх.1), где n - количество работающих катодов. Далее, согласно приведенной схеме подключения катодов, выделенные курсивом аноды (A_i) при переключении становятся катодами, а катоды,

обозначенные (K_i) - станут анодами. При этом анод последующей группы, например анод A_2 , перейдет в анод $A_{1.1}$ предшествующей группы. Преобразовав предыдущую схему (сх.1) для нового состояния, записав в скобках предыдущее состояние подключения электродов-планаров, получим следующую схему: «...- $A_n(A_1)$ - $A_1(K_1)$ - $K_1(A_1)$ - $A_1(A_2)$ - $A_2(K_2)$ - $K_2(A_2)$ - $A_2(A_3)$ - $A_3(K_3)$ - $K_3(A_3)$ -...- $A_{n-1}(A_n)$ - $A_n(K_n)$ - $K_n(A_n)$ -...- $A_n(A_1)$ - $A_1(K_1)$ - $K_1(A_1)$...» (сх.2).

Для обеспечения приведенной схемы переключения электродов-планаров необходимо использовать для каждого катода индивидуальные источники электрического питания. Использование при формировании покрытия таких газов как азот и ацетилен позволяют получать на наносимых деталях (но не на электродах-планарах, поскольку они находятся вне зоны химической ионно-плазменной реакции) многослойные нитридные и карбонитридные покрытия.

Пример.

Для оценки увеличения коэффициента использования материала при нанесении покрытия в предлагаемой установке по сравнению с установкой-прототипом, были проведены следующие исследования. Покрытия были нанесены по трем вариантам. Первый вариант выполнялся согласно предложенного технического решения. Второй и третий варианты - представляли собой реализации условий характерных для установок-прототипов (т.е. без переключения электродов на функции катодов или анодов).

Предложенное техническое решение было реализовано в вакуумной камере ионно-плазменной установки с девятью одинаковыми электродами-планарами размерами $18 \times 180 \times 800$ мм, изготовленных из титанового сплава

ВТ1-0. Электроды-планары поочередно подключались к трем источниками электрического питания, по схеме: «...- A_1 - K_1 - A_1 - A_2 - K_2 - A_2 - A_3 - K_3 - A_3 - A_1 -...», позволяющей электродам-планарам поочередно выполнять функции анодов и катодов. Переключение электродов-планаров осуществлялось через каждые 5 минут, при общем времени напыления 1,5 часа. Коэффициент использования материала катодов определялся по изменению общей массы электродов-планаров.

Второй вариант, выполненный по способу-прототипу был осуществлен в тех же условиях, что и предлагаемый способ, за исключением операции переключения

электродов-планаров. В третьем варианте, также выполненном по условиям способа-прототипа, в установке были оставлены только три электрода-планара, служившими катодами. В последнем варианте, анодом служил корпус вакуумной камеры установки. Время нанесения покрытия и режимы напыления во всех трех случаях были одинаковыми. Покрытия наносили на пластины в вакуумной камере экспериментальной установки с периферийным расположением катода при токе дуги 120 А. Покрытия наносили после предварительной ионной очистки. Результаты оценки коэффициентов использования материала приведены в таблице.

Таблица			
№	Варианты нанесения покрытия	Изменение массы электродов-планаров, кг	Снижение расхода материала катода, %
1	Вариант №1 (Предлагаемое техническое решение)	0,311	42
2	Вариант №2 (Установка-прототип)	0,754	102
3	Вариант №3 (Установка-прототип)	0,738	100

Как видно из приведенной таблицы, расход материала катода в предлагаемой установке в 2,4 раза ниже чем в установке-прототипе.

Кроме того, предлагаемая установка позволяет, в отличие от прототипа, проводить не только термическую обработку, химико-термическую обработку, нанесение покрытия, а также и ионную имплантацию изделий. За счет расширения технологических возможностей предлагаемая установка заменяет несколько устройств: печь для термической обработки, установку для химико-термической обработки, установку для ионной имплантации и установку для нанесения покрытий. При совмещении в одном цикле обработки различных операций, например ионной имплантации и нанесения покрытия или ионной имплантации и термической обработки реализуется комплексная вакуумная ионно-плазменная обработка, которая, с одной стороны, позволяет повысить качество обработки изделий, а с другой - снизить стоимость обработки. За счет совмещения в одном цикле обработки операций ионной имплантации и нанесения покрытия значительно повышается качество обработанных изделий: адгезия покрытия, предел выносливости обработанных изделий. За счет чередования процессов нагрева, выдержки, ионной имплантации, нанесения покрытия в одном цикле возможно получение новых физических, механических и эксплуатационных свойств поверхности изделий.

Известные установки для вакуумной ионно-плазменной обработки, как правило, предназначены для обработки изделий небольшого размера (режущий инструмент, лопатки газотурбинных двигателей и т.п.). Предлагаемая установка предназначена, главным образом, для обработки длинномерных изделий, например лопаток паровых турбин. Вакуумная камера предлагаемой установки имеет размеры, позволяющие размещать в ней длинномерные изделия, а катоды электродуговых испарителей выполнены из пластин длиной 80...3000 мм и шириной 30...500 мм, что обеспечивает зону обработки установки достаточную для качественной обработки длинномерных изделий размера.

Таким образом, предлагаемая полезная модель позволяет достичь поставленного технического результата - повысить экономичность процесса обработки за счет снижения расхода распыляемого материала и снизить трудоемкость подготовки установки к работе после предыдущей обработки.

(57) Реферат

Полезная модель относится к технике вакуумного нанесения износ-, коррозионно- и эрозионностойких ионно-плазменных покрытий и может быть применено в машиностроении, преимущественно для ответственных деталей, например, рабочих и направляющих лопаток турбомашин. Техническим результатом полезной модели является повышение экономичности процесса обработки за счет снижения расхода распыляемого материала и снижения трудоемкости подготовки установки к работе после предыдущей обработки. Установка для комплексной вакуумной ионно-плазменной обработки содержит вакуумную камеру с расположенными в ней протяженными электродами-планарами электродуговых испарителей, выполненных с возможностью индивидуального переключения полярности с анода на катод и обратно, обеспечивающего превышение общей площади анодов над общей площадью катодов не менее чем в два раза, причем суммарная площадь рабочей поверхности электродов-планаров составляет 20%...90% от всей внутренней поверхности вакуумной камеры. Установка также содержит источники питания вакуумно-дугового разряда, источник питания двухступенчатого вакуумно-дугового разряда, устройство для ионной имплантации, выполненное в виде источника питания потенциала смещения, дополнительный электрод, выполненный с возможностью подключения к положительному полюсу источника питания двухступенчатого вакуумно-дугового разряда причем дополнительный электрод выполнен в виде цилиндра вращения и расположен в центре вакуумной камеры. 1 н.з. и 12 з.п. ф-лы, 1 табл., 1 пр.

25

30

35

40

45

50

РЕФЕРАТ

Полезная модель относится к технике вакуумного нанесения износ-, коррозионно- и эрозионностойких ионно-плазменных покрытий и может быть применено в машиностроении, преимущественно для ответственных деталей, например, рабочих и направляющих лопаток турбомашин. Техническим результатом полезной модели является повышение экономичности процесса обработки за счет снижения расхода распыляемого материала и снижения трудоемкости подготовки установки к работе после предыдущей обработки. Установка для комплексной вакуумной ионно-плазменной обработки содержит вакуумную камеру с расположенными в ней протяженными электродами-планарами электродуговых испарителей, выполненных с возможностью индивидуального переключения полярности с анода на катод и обратно, обеспечивающего превышение общей площади анодов над общей площадью катодов не менее чем в два раза, причем суммарная площадь рабочей поверхности электродов-планаров составляет 20% ... 90% от всей внутренней поверхности вакуумной камеры. Установка также содержит источники питания вакуумно-дугового разряда, источник питания двухступенчатого вакуумно-дугового разряда, устройство для ионной имплантации, выполненное в виде источника питания потенциала смещения, дополнительный электрод, выполненный с возможностью подключения к положительному полюсу источника питания двухступенчатого вакуумно-дугового разряда причем дополнительный электрод выполнен в виде цилиндра вращения и расположен в центре вакуумной камеры. 1 н.з. и 12 з.п. ф-лы, 1 табл., 1 пр.

2008117927

МПК⁸ С 23 С 14/32, 14/48, 14/54

Установка для комплексной вакуумной ионно-плазменной обработки

Полезная модель относится к вакуумной ионно-плазменной технологии и может быть применено для повышения эксплуатационных свойств изделий, в частности длинномерных изделий, например лопаток паровых турбин.

Для повышения эксплуатационных свойств изделий (твердости, износостойкости, эрозионной стойкости и пр.) используют устройства для химико-термической обработки, в частности установки для ионного азотирования [Лахтин Ю.М., Арзамасов Б.Н. Химико-термическая обработка металлов. – М.: Metallurgia, 1985, С. 177-181]. Установка для ионного азотирования содержит вакуумную камеру с расположенными в ней катодами, источники питания, держатель изделий. Обработку изделий в таких установках осуществляют путем выдержки их в среде ионизированного рабочего газа при высокой температуре.

Недостатком этих устройств является невысокая эффективность процесса модификации поверхности изделий вследствие низкой энергии частиц рабочего газа. При химико-термической обработке для получения необходимой концентрации легирующего элемента в поверхности изделий необходимо длительное выдерживание изделий в среде рабочего газа при высокой температуре. Это является причиной низкой производительности процесса. При этом происходит образование хрупких крупнодисперсных структурных составляющих, что снижает механические и эксплуатационные свойства изделий. Также недостатком является невозможность внедрения в поверхность элементов в количестве, превышающем их предел растворимости в материале изделий.

Для повышения эксплуатационных свойств изделий также используют установки для ионной имплантации [Обеспечение эксплуатационных свойств лопаток компрессора из титановых сплавов путем ионного модифицирования поверхности на установке «Вита» / Смыслов А.М., Гусева М.И., Смыслова М.К. и др. // *Авиационная промышленность*. – 1992. – № 5. – С. 24-26], содержащие вакуумную камеру с установленными на ней устройствами для ионной имплантации, источники питания, держатель изделий. Обработку изделий в таких установках осуществляют следующим образом. Обрабатываемые изделия размещают в вакуумной камере установки, затем в ней создают вакуум и напускают в нее рабочий газ. Затем производят бомбардировку изделий ускоренными ионами рабочего газа, которые внедряются в поверхность изделий.

Установки для модификации поверхности путем ионной имплантации позволяют улучшать прочностные характеристики изделий без снижения пластичности, благодаря чему повышают сопротивление усталости изделий.

Недостатком таких установок является ограниченность технологических возможностей, вследствие чего не удается получить высокие эксплуатационные свойства обрабатываемых деталей.

Для повышения эксплуатационных свойств изделий также используют установки для нанесения вакуумных ионно-плазменных покрытий [Установка «Булат-6». Паспорт Ф.-10000-02-ПС, 1984], содержащие вакуумную камеру с расположенными в ней катодами электродуговых испарителей (ЭДИ), источники питания вакуумно-дугового разряда (ВДР), держатель изделий. Эти установки позволяют наносить на изделия покрытия из металлов и их соединений с целью защиты поверхности от коррозии, эрозии, износа и т.п. Процесс нанесения покрытия в таких установках осуществляют следующим образом. Обрабатываемые изделия размещают в вакуумной камере установки, затем в ней создают

вакуум и напускают в нее рабочий газ. Зажигают ВДР между катодом и анодом ЭДИ. При протекании ВДР в вакуумной камере образуется металло-газовая плазма, содержащая ионы рабочего газа, ионы металла катода ЭДИ, электроны и нейтральные частицы. Нанесение покрытия производят путем осаждения на изделия ионов металла и ионов рабочего газа.

Недостатком таких установок является ограниченность технологических возможностей, вследствие чего не удается получить высокие эксплуатационные свойства обрабатываемых деталей.

Наиболее близкой по технической сущности к предлагаемой установке является установка для нанесения покрытий [Патент РФ № 2022056, МКИ С 23 С 14/32, 30.10.94], содержащая вакуумную камеру с расположенными в ней катодами электродуговых испарителей, источники питания ВДР, источник питания двухступенчатого вакуумно-дугового разряда (ДВДР), держатель изделий и оптически непрозрачный поворотный экран, расположенный между держателем изделий и одним из катодов.

Эта установка позволяет повышать эксплуатационные свойства изделий путем комплексной обработки, включающей химико-термическую обработку и нанесение покрытия в одном цикле.

Обработку изделий в данной установке осуществляют следующим образом. Обрабатываемые изделия размещают в вакуумной камере, затем создают в ней вакуум. При этом оптически непрозрачный поворотный экран закрывает катод ЭДИ. В камеру напускают рабочий газ (азот), зажигают ДВДР между катодом ЭДИ, закрытым оптически непрозрачным поворотным экраном, и катодом ЭДИ, расположенным напротив него, который в данном случае служит анодом ДВДР, и генерируют газовую плазму. Изделия подвергают химико-термической обработке (азотированию) путем выдержки их в газовой плазме при рабочей температуре. Для нагрева изделий до рабочей температуры к ним прикладывают положительный потенциал от источника питания. При этом

изделия служат анодом ДВДР и происходит их нагрев электронами металло-газовой плазмы.

После проведения процесса химико-термической обработки производят нанесение покрытия. Для этого оптически непрозрачный поворотный экран отводят в сторону, открывая путь потоку металлической плазмы, генерируемой катодом. При этом в вакуумной камере образуется металло-газовая плазма, содержащая ионы рабочего газа, ионы металла катода ЭДИ, электроны и нейтральные частицы. Нанесение покрытия производят путем осаждения на изделия ионов металла и ионов рабочего газа.

Установка-прототип имеет ограниченные технологические возможности и не позволяет качественно обрабатывать изделия (особенно изделия больших размеров, к которым относят, например, лопатки паровых турбин с областью подлежащей обработке размером порядка 1200x200 мм). Кроме того, установка-прототип имеет низкую производительность и высокий расход энергии и материалов. Это объясняется следующими причинами:

- несовершенством метода модификации поверхности;
- неравномерностью распределения плазмы внутри камеры (что снижает однородность обработки поверхности, особенно длинномерных изделий);
- низкая производительность процесса генерации плазмы;
- неэффективностью использования плазмы при модификации поверхности;
- неравномерностью толщины покрытия по длине изделия.

Однако основным недостатком, как установки-прототипа, так и других известных установок, является чрезвычайно высокий расход распыляемого материала, образующего покрытие. Это объясняется, в

частности тем, что значительная доля испаряемого материала осаждается на внутреннюю поверхность вакуумной камеры установки загрязняя ее и требуя дополнительных работ по удалению продуктов распыления. Последнее обстоятельство также способствует ухудшению процесса обработки из-за нежелательных загрязнений вакуумной камеры.

Техническим результатом полезной модели является повышение экономичности процесса обработки за счет снижения расхода распыляемого материала и снижения трудоемкости подготовки установки к работе после предыдущей обработки.

Технический результат достигается тем, что предлагаемая установка для комплексной вакуумной ионно-плазменной обработки, содержащая вакуумную камеру с расположенными в ней протяженными электродами-планарами электродуговых испарителей, источники питания вакуумно-дугового разряда, источник питания двухступенчатого вакуумно-дугового разряда, держатель изделий и оптически непрозрачный поворотный экран, расположенный между катодом электродугового испарителя и держателем изделий, по крайней мере одно, устройство для ионной имплантации, выполненное в виде источника питания потенциала смещения, дополнительный электрод, выполненный с возможностью подключения к положительному полюсу источника питания двухступенчатого вакуумно-дугового разряда, причем между катодами электродуговых испарителей и держателем изделий расположены оптически непрозрачные поворотные экраны по числу электродуговых испарителей, а дополнительный электрод выполнен в виде цилиндра вращения и расположен в центре вакуумной камеры, в отличие от прототипа, протяженные электроды-планары электродуговых испарителей, выполнены с возможностью индивидуального переключения полярности с анода на катод и обратно, обеспечивающего превышение общей площади анодов над общей площадью катодов не менее

чем в два раза, причем суммарная площадь рабочей поверхности электродов-планаров составляет 20% ... 90% от всей внутренней поверхности вакуумной камеры.

Технический результат достигается также тем, что электроды-планары выполнены с одинаковыми размерами и формой, причем высота, ширина и толщина используемых электродов-планаров выбирается, соответственно в диапазонах: длина – от 80 мм до 3000 мм, ширина – от 30 до 500 мм, толщина – от 5 до 100 мм.

Технический результат достигается также тем, что электроды-планары, подключенные как катоды, имеют, по обе стороны от них, по две соседние пластины-планары, подключенные как аноды, причем все электроды-планары выполнены с возможностью индивидуального переключения полярности с анода на катод и обратно, с обеспечением подключения на каждый электрод-планар с полярностью катода по два соседних электрод-планара с полярностью анода.

Технический результат достигается также тем, что электроды-планары выполнены из следующих металлов: Ti, Zr, Hf, Cr, V, Nb, Ta, Mo, W, Al, La, Eu и/или сплавов на основе указанных металлов.

Технический результат достигается также тем, что электроды-планары выполнены из следующих металлов: Ni, Co, Cr, Al, Y и/или сплавов на основе указанных металлов.

Технический результат достигается также тем, что вакуумная камера выполнена в виде полого цилиндра вращения высотой 1500...3500 мм и диаметром 800...2500 мм.

Технический результат достигается также тем, что вакуумная камера выполнена с возможностью присоединения дополнительных секций вакуумной камеры.

Технический результат достигается также тем, что держатель изделий состоит из отдельных электроизолированных секций держателя изделий по

числу электродуговых испарителей, выполненных с возможностью подключения как к независимым отрицательным выводам источника питания потенциала смещения, так и к положительному полюсу источника питания двухступенчатого вакуумно-дугового разряда независимо друг от друга.

Технический результат достигается также тем, что могут использоваться следующие варианты исполнения установки: держатель изделий выполнен с возможностью установки в него наборов изделий; электроды-планары расположены: либо по периферии вакуумной камеры установки, либо в центральной части вакуумной камеры установки, либо в центральной части и по периферии вакуумной камеры установки.

Перечисленные существенные признаки предлагаемой полезной модели позволяют достичь поставленного технического результата – повысить экономичность процесса обработки за счет снижения расхода распыляемого материала и снизить трудоемкость подготовки установки к работе после предыдущей обработки.

Достижение технического результата объясняется следующим.

Повышение коэффициента использования испаряемого материала катодов происходит за счет повторного испарения (реиспарения) наносимого материала. При значительной площади электродов-планаров (до 90% от всей внутренней поверхности вакуумной камеры установки), поочередное их использование, то в качестве анодов, то – в качестве катодов, позволяет улавливать часть испаряемого материала путем его осаждения на рабочие поверхности электродов-планаров, подключенных как аноды. Затем, осажденный на поверхность электродов-планаров, имеющих полярность анодов материал, реиспаряется при переключении их на режим работы катодов. Поскольку большая часть испаренного с катодов материала осаждается либо на поверхность деталей, либо на поверхность электродов-планаров, имеющих полярность анодов, то достигается два

основных эффекта: во-первых, повышается коэффициент использования материала и, во-вторых, происходит меньшее загрязнение внутренней поверхности вакуумной камеры установки. Меньшее загрязнение внутренней поверхности вакуумной камеры позволяет повысить качество обработки изделий за счет обеспечения более стабильных условий обработки деталей.

Предлагаемая установка снабжена устройством для ионной имплантации. Преимущество ионной имплантации перед химико-термической обработкой, в частности азотированием, - в большей глубине модифицированного слоя за счет повышенной энергии имплантируемых частиц и радиационно-стимулируемой диффузии [Гусева М.И. Ионная имплантация в неполупроводниковые материалы // Итоги науки и техники: серия Физические основы лазерной и пучковой технологии. Т. 5. - Ионно-пучковая технология. - М. - 1989]. При ионной имплантации реализуются не только твердорастворный и дисперсионный механизмы упрочнения, но и дислокационный. При этом возникают эффекты дальнего действия, за счет чего толщина упрочненного слоя превышает толщину слоя с измененным химическим составом. Кроме того, при ионной имплантации возможно внедрение в поверхность легирующих элементов в количестве, превышающем их предел растворимости в материале изделия.

В отличие от химико-термической обработки, ионная имплантация не требует длительного выдерживания изделий при высокой температуре и не приводит к огрублению структуры материала. Поэтому ионная имплантация оказывает упрочняющее воздействие на поверхность, не снижая пластичности, что позволяет повысить сопротивление усталости изделий, в частности предел выносливости с концентратором напряжений, в то время как после химико-термической обработки предел выносливости с концентратором напряжений как правило снижается.

Еще одним преимуществом ионной имплантации перед химико-термической обработкой является эффективная активация поверхности, что улучшает условия нанесения на нее покрытия, повышает их адгезию. При этом физико-химическое состояние материала плавно изменяется по глубине поверхности, создаются благоприятные сжимающие остаточные напряжения в поверхностном слое.

Предлагаемая установка позволяет, в отличие от прототипа, проводить в одном цикле обработки не только термическую обработку, химико-термическую обработку и нанесение покрытия, но и ионную имплантацию, а также различные сочетания указанных видов обработки, что обеспечивает качественно новый уровень свойств поверхности изделий – высокий уровень твердости, износостойкости, эрозионной и коррозионной стойкости, сопротивления усталости и др. Предлагаемая установка позволяет получать новые физические и механические свойства поверхности, создавать полупроводниковые слои, многослойные композиции с различными свойствами слоев и т.п.

Наиболее технологичным устройством для ионной имплантации является источник питания потенциала смещения. Источник питания потенциала смещения представляет собой высоковольтный источник питания, выполненный с возможностью подачи отрицательного потенциала достаточной для ионной имплантации величины на обрабатываемые изделия. Ионную имплантацию с помощью этого устройства осуществляют путем подачи на изделия отрицательного потенциала достаточной для ионной имплантации величины, при этом положительные ионы плазмы ускоряются в электрическом поле изделий и бомбардируют поверхность изделий, внедряясь в нее.

В установке-прототипе в качестве анода ДВДР используют один из катодов ЭДИ, при этом только один из ЭДИ снабжен оптически непрозрачным поворотным экраном. Это приводит к низкой

производительности процесса генерации газовой плазмы и неравномерности ее распределения в вакуумной камере. В вакуумной камере предлагаемой установки расположен дополнительный электрод, выполненный с возможностью подключения к положительному полюсу источника питания ДВДР, причем все ЭДИ снабжены оптически непрозрачными поворотными экранами. Это позволяет значительно повысить производительность процесса генерации газовой плазмы за счет одновременного горения нескольких ДВДР при использовании в качестве анода ДВДР дополнительного электрода. Также это обеспечивает более равномерное распределение плазмы в вакуумной камере.

Дополнительный электрод может быть выполнен в виде вертикального цилиндра вращения, расположенного в центре вакуумной камеры. Цилиндрическая форма дополнительного электрода и расположение его в центре вакуумной камеры обеспечивают равномерное распределение плазмы в вакуумной камере, устойчивость горения разряда на его поверхности, наиболее эффективное охлаждение, позволяют максимально использовать внутреннее пространство вакуумной камеры. Благодаря равномерному распределению плазмы во внутреннем объеме вакуумной камеры становится возможной качественная обработка изделий без их вращения.

Для качественной обработки изделий необходимо, чтобы рабочая зона вакуумной камеры (зона обработки) имела размер не меньший, чем область изделий, подлежащая обработке. Для обеспечения большой зоны обработки катоды ЭДИ могут быть выполнены в виде пластин длиной $L = 80 \dots 3000$ мм, шириной $B = 30 \dots 500$ мм, толщиной $T = 5 \dots 100$ мм. При этом для качественной обработки длинномерных изделий, в частности лопаток паровых турбин, оптимальными размерами катодов ЭДИ являются: длина $L = 1000 \dots 1800$ мм, ширина $B = 100 \dots 200$ мм. Оптимальная толщина катодов

ЭДИ определяется из условий горения разряда на поверхности катода и условий его охлаждения и составляет $T = 20 \dots 40$ мм.

Вакуумная камера предлагаемой установки может быть выполнена в виде полого цилиндра вращения, в частности расположенного вертикально. Это обеспечивает оптимальное использование внутреннего объема вакуумной камеры, технологичность ее изготовления и обслуживания и равномерность распределения плазмы во внутреннем пространстве вакуумной камеры.

Высота и внутренний диаметр вакуумной камеры должны быть достаточными для свободного размещения ЭДИ, оптически непрозрачных поворотных экранов, держателя изделий с изделиями, дополнительного электрода и других элементов и устройств установки. Исходя из обеспечения возможности обработки длинномерных изделий, в частности лопаток паровых турбин, оптимальные размеры вакуумной камеры: высота $H = 1500 \dots 3500$ мм, внутренний диаметр $D = 800 \dots 2500$ мм.

Вакуумная камера предлагаемой установки может быть выполнена с возможностью присоединения дополнительных секций вакуумной камеры. Это обеспечивает возможность изменения размеров камеры для их оптимизации в зависимости от размеров обрабатываемых изделий. Для обработки изделий большого размера вакуумную камеру увеличивают путем присоединения дополнительных секций вакуумной камеры. При обработке изделий меньшего размера вакуумную камеру уменьшают. При этом за счет уменьшения внутреннего объема вакуумной камеры сокращается время откачки и снижается расход материалов.

В установке-прототипе обработку изделий осуществляют электронами плазмы (нагрев) и ионами (химико-термическая обработка) последовательно. При обработке изделий электронами держатель изделий

подключают к положительному полюсу источника питания ДВДР, при этом изделия выполняют роль анода ДВДР. При обработке изделий ионами в качестве анода ДВДР используют катод ЭДИ. Недостаток этой схемы в неэффективном использовании плазмы, в результате чего снижается производительность, повышается расход энергии и материалов: при обработке электронами используют только электронную компоненту плазмы, а ионная не используется; при обработке ионами используют только ионную компоненту плазмы, а электронная не используется.

С целью повышения эффективности использования плазмы и повышения производительности установки держатель изделий предлагаемой установки состоит из отдельных электроизолированных секций держателя изделий по числу ЭДИ, выполненных с возможностью подключения с помощью переключателей как к независимым отрицательным выводам источника питания потенциала смещения, так и к положительному полюсу источника питания ДВДР независимо друг от друга.

Это дает возможность одновременной обработки электронами плазмы одной группы изделий (или одного изделия) и обработки ионами плазмы другой группы изделий. При этом одновременно используется как электронная, так и ионная компоненты плазмы, что снижает расход энергии и материалов. Изделия, установленные в секции держателя изделий, подключенные к положительному полюсу источника питания ДВДР служат анодом ДВДР и подвергаются эффективному нагреву электронами. Изделия, установленные в секции держателя изделий, подключенные к отрицательным выводам источника питания потенциала смещения подвергаются ионной имплантации. Изделия, установленные в секции держателя изделий, не подключенные ни к одному из источников, подвергаются химико-термической обработке.

Держатель изделий предлагаемой установки может быть выполнен с возможностью установки в него наборов изделий. Таким образом за один цикл возможна обработка вместо одного длиномерного изделия нескольких изделий малого размера. Это обеспечивает высокую производительность установки при обработке изделий малого размера.

Сущность полезной модели поясняется чертежом. На фигуре показана схема предлагаемой установки.

Установка для комплексной вакуумной ионно-плазменной обработки содержит вакуумную камеру 1, выполненную в виде полого цилиндра вращения, имеющую дверь 2 и откачную трубу 3. На стенках вакуумной камеры 1 установлены электроды-планары 4-12, выполненные с возможностью функционирования, либо как катоды 6, 9, 12, либо, как аноды 4,5,7,8,10,11. При этом, электроды-планары 4-12, в процессе работы установки могут изменять полярность, переключаясь с режимов катодов на аноды и обратно. Электроды-планары 4-12 выполнены в виде пластин длиной L и шириной B . В центре вакуумной камеры 1 установлен дополнительный электрод 13 в виде цилиндра вращения. Секции держателя изделий 14, 15, 16 имеют возможность вращательного движения как вокруг центра камеры 1, так и вокруг собственной оси.

Дополнительный электрод 13 имеет возможность подключения к положительному полюсу источника питания ДВДР. Секции держателя изделий 14, 15, 16 имеют возможность независимого друг от друга подключения как к независимым отрицательным выводам источника питания потенциала смещения, так и к положительному полюсу источника питания ДВДР. Вакуумная камера 1 может иметь возможность присоединения дополнительных секций вакуумной камеры.

Установка для комплексной вакуумной ионно-плазменной обработки работает следующим образом. Обрабатываемые изделия 17, 18, 19 устанавливаются в секции держателя изделий 14, 15, 16 затем закрывают

дверь 2 вакуумной камеры 1, создают в вакуумной камере 1 вакуум, включают привод держателя изделий.

Затем производят обработку изделий одним из следующих способов: нагрев, химико-термическая обработка, ионная имплантация, нанесение покрытия, или их сочетанием.

Нагрев изделий осуществляют с целью их термической обработки или для подготовки их к последующей обработке, например нанесению покрытия. Нагрев изделий в предлагаемой установке осуществляют следующим образом. В вакуумную камеру 1 напускают рабочий газ. электроды-планары 4-12 закрывают поворотными оптически непрозрачными экранами. Зажигают ВДР между электродами-планарами 6, 9, 12, имеющими полярность катодов ЭДИ и вакуумной камерой 1 или электродами-планарами 4,5,7,8,10,11, имеющими полярность анодов ВДР. Затем подключают изделия к положительному полюсу источника питания ДВДР и зажигают ДВДР между электродами-планарами 6, 9, 12, имеющими полярность катодов и изделиями 17, 18, 19. При этом изделия, которые служат анодом ДВДР интенсивно нагреваются электронами плазмы ДВДР.

Химико-термическую обработку в предлагаемой установке осуществляют следующим образом. Осуществляют нагрев изделий вышеописанным способом, затем подключая дополнительный электрод 13 к положительному полюсу источника питания ДВДР, зажигают ДВДР между катодами ЭДИ (электродами-планарами имеющими полярность катодов) 6, 9, 12, и дополнительным электродом 13, являющимся анодом ДВДР. В результате горения ДВДР в камере образуется газовая плазма, содержащая ионы рабочего газа, электроны и нейтральные частицы. Изделия выдерживают в газовой плазме, при этом происходит диффузионное внедрение ионов и атомов рабочего газа в поверхность изделий.

Ионную имплантацию в предлагаемой установке осуществляют следующим образом. В вакуумную камеру 1 напускают рабочий газ. Катоды ЭДИ 6, 9, 12, закрывают оптически непрозрачными поворотными экранами. Зажигают ВДР между катодами ЭДИ 6, 9, 12 и вакуумной камерой 1, являющейся анодом ВДР или электродами-планарами 4, 5, 7, 8, 10, 11, имеющими полярность анодов ВДР. Подключая дополнительный электрод 13 к положительному полюсу источника питания ДВДР, зажигают ДВДР между катодами ЭДИ и дополнительным электродом 13, являющимся анодом ДВДР. В результате горения ДВДР в камере образуется газовая плазма, содержащая ионы рабочего газа, электроны и нейтральные частицы. На изделия, подвергаемые ионной имплантации, подают отрицательный потенциал достаточной для ионной имплантации величины от источника питания потенциала смещения. При этом ионы плазмы рабочего газа ускоряются в электрическом поле изделий и внедряются в их поверхность.

Нанесение покрытия в предлагаемой установке осуществляют следующим образом. В вакуумную камеру 1 напускают рабочий газ. Electroды-планары 6, 9, 12, имеющие полярность катодов ЭДИ открывают, отводя в сторону оптически непрозрачные поворотные экраны. Зажигают ВДР между электродами-планарами 6, 9, 12 (катодами) и электродами-планарами 4, 5, 7, 8, 10, 11, имеющими полярность анодов ВДР. В результате горения ВДР в камере образуется металло-газовая плазма, содержащая ионы рабочего газа, ионы металла катодов ЭДИ, электроны и нейтральные частицы. На изделия 17, 18, 19 подают отрицательный потенциал от источника питания потенциала смещения. При этом ионы металла ускоряются в электрическом поле изделий и осаждаются на их поверхности, образуя покрытие. При использовании в качестве рабочего газа активного газа, ионы рабочего газа соединяются с ионами металла, при этом образуется покрытие из соединений металла и неметалла.

Для нанесения покрытия используют электроды-планары (катоды), работающие в режиме возвратно-поступательного движения области катодного пятна (зоны испарения) под воздействием электромагнитного поля, возникающего в результате протекания тока по катоду. Возвратно-поступательное движение области катодного пятна обеспечивается переключением контактов на концах электрода-планара (катода). Испарение материала катода происходит за счет дуги, возбужденной между расположенными по периферии чередующимися электродами-планарами, часть из которых работает в определенный момент как катоды, а часть – как аноды. Электроды-планары образуют достаточно развитую поверхность внутри камеры (до 90% внутренней площади камеры). Причем, при нанесении покрытия одни электроды-планары выполняют функцию катодов, другие – анодов, при этом площадь электродов-планаров образующих аноды, по крайней мере в два раза превышает площадь электродов-планаров, образующих катоды. Далее, в процессе нанесения покрытия, часть электродов-планаров, выполнявших функцию катодов переключаются и становятся анодами, а часть электродов-планаров, выполнявших функцию анодов переключаются и становятся катодами. В результате этого, материал нанесенный на электроды-планары, служившими анодами при переключении их на режим катодов, начинает реиспаряться. Такое многократное реиспарение наносимого материала позволяет в значительной степени повысить коэффициент использования материала при формировании покрытий.

Наиболее просто и целесообразно выполнять одинаковые электроды-планары, размещая их таким образом, чтобы около одного электрода-планара работающего в режиме катода, находились два электрода-планара работающих в режиме анода, причем они приходились на этот катод. Другими словами, схема подключения катодов (K_i) и анодов (A_i) (по замкнутому контуру) может быть следующей: « ... – A_1 – K_1 – A_2 – K_2 –

$A_2 - A_3 - K_3 - A_3 - \dots - A_n - K_n - A_n - \dots - A_1 - K_1 - A_1 - \dots$ » (сх. 1), где n – количество работающих катодов. Далее, согласно приведенной схеме подключения катодов, выделенные курсивом аноды (A_i) при переключении становятся катодами, а катоды, обозначенные (K_i) – станут анодами. При этом анод последующей группы, например анод A_2 , перейдет в анод $A_{1,1}$ предшествующей группы. Преобразовав предыдущую схему (сх. 1) для нового состояния, записав в скобках предыдущее состояние подключения электродов-планаров, получим следующую схему: « ... – $A_n (A_1) - A_1 (K_1) - K_1(A_1) - A_1 (A_2) - A_2 (K_2) - K_2 (A_2) - A_2 (A_3) - A_3 (K_3) - K_3 (A_3) - \dots - A_{n-1} (A_n) - A_n (K_n) - K_n (A_n) - \dots - A_n (A_1) - A_1 (K_1) - K_1(A_1) \dots$ » (сх. 2).

Для обеспечения приведенной схемы переключения электродов-планаров необходимо использовать для каждого катода индивидуальные источники электрического питания. Использование при формировании покрытия таких газов как азот и ацетилен позволяют получать на наносимых деталях (но не на электродах-планарах, поскольку они находятся вне зоны химической ионно-плазменной реакции) многослойные нитридные и карбонитридные покрытия.

Пример.

Для оценки увеличения коэффициента использования материала при нанесении покрытия в предлагаемой установке по сравнению с установкой-прототипом, были проведены следующие исследования. Покрытия были нанесены по трем вариантам. Первый вариант выполнялся согласно предложенного технического решения. Второй и третий варианты – представляли собой реализации условий характерных для установок-прототипов (т.е. без переключения электродов на функции катодов или анодов).

Предложенное техническое решение было реализовано в вакуумной камере ионно-плазменной установки с девятью одинаковыми электродами-планарами размерами 18x180x800 мм, изготовленных из титанового сплава

BT1-0. Электроды-планары поочередно подключались к трем источниками электрического питания, по схеме: « ... – A_1 – K_1 – A_1 – A_2 – K_2 – A_2 – A_3 – K_3 – A_3 – A_1 – ... », позволяющей электродам-планарам поочередно выполнять функции анодов и катодов. Переключение электродов-планаров осуществлялось через каждые 5 минут, при общем времени напыления 1,5 часа. Коэффициент использования материала катодов определялся по изменению общей массы электродов-планаров.

Второй вариант, выполненный по способу-прототипу был осуществлен в тех же условиях, что и предлагаемый способ, за исключением операции переключения электродов-планаров. В третьем варианте, также выполненном по условиям способа-прототипа, в установке были оставлены только три электрода-планара, служившими катодами. В последнем варианте, анодом служил корпус вакуумной камеры установки. Время нанесения покрытия и режимы напыления во всех трех случаях были одинаковыми. Покрытия наносили на пластины в вакуумной камере экспериментальной установки с периферийным расположением катода при токе дуги 120 А. Покрытия наносили после предварительной ионной очистки. Результаты оценки коэффициентов использования материала приведены в таблице.

Таблица

№	Варианты нанесения покрытия	Изменение массы электродов-планаров, кг	Снижение расхода материала катода, %
1	Вариант №1 (Предлагаемое техническое решение)	0,311	42
2	Вариант №2 (Установка-прототип)	0,754	102
3	Вариант №3 (Установка-прототип)	0,738	100

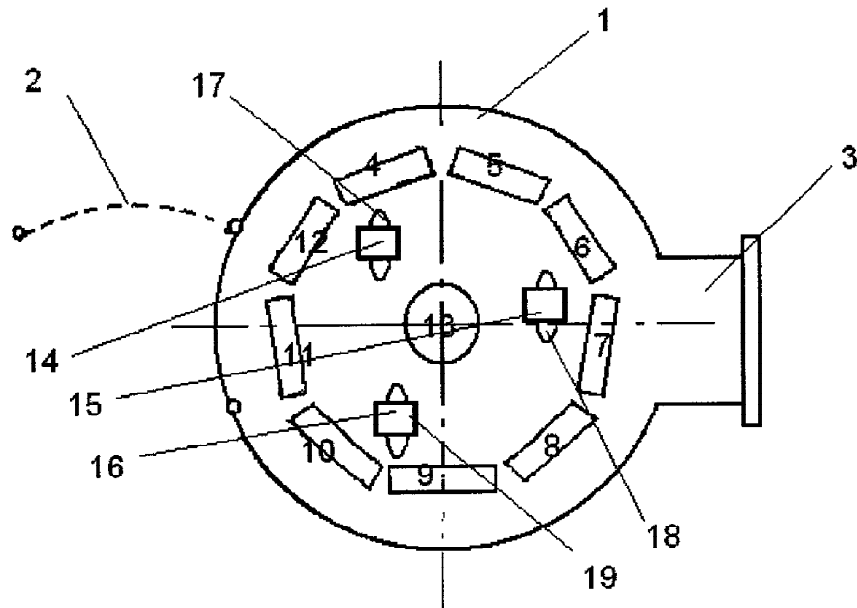
Как видно из приведенной таблицы, расход материала катода в предлагаемой установке в 2,4 раза ниже чем в установке-пототипе.

Кроме того, предлагаемая установка позволяет, в отличие от прототипа, проводить не только термическую обработку, химико-термическую обработку, нанесение покрытия, а также и ионную имплантацию изделий. За счет расширения технологических возможностей предлагаемая установка заменяет несколько устройств: печь для термической обработки, установку для химико-термической обработки, установку для ионной имплантации и установку для нанесения покрытий. При совмещении в одном цикле обработки различных операций, например ионной имплантации и нанесения покрытия или ионной имплантации и термической обработки реализуется комплексная вакуумная ионно-плазменная обработка, которая, с одной стороны, позволяет повысить качество обработки изделий, а с другой - снизить стоимость обработки. За счет совмещения в одном цикле обработки операций ионной имплантации и нанесения покрытия значительно повышается качество обработанных изделий: адгезия покрытия, предел выносливости обработанных изделий. За счет чередования процессов нагрева, выдержки, ионной имплантации, нанесения покрытия в одном цикле возможно получение новых физических, механических и эксплуатационных свойств поверхности изделий.

Известные установки для вакуумной ионно-плазменной обработки, как правило, предназначены для обработки изделий небольшого размера (режущий инструмент, лопатки газотурбинных двигателей и т.п.). Предлагаемая установка предназначена, главным образом, для обработки длинномерных изделий, например лопаток паровых турбин. Вакуумная камера предлагаемой установки имеет размеры, позволяющие размещать в ней длинномерные изделия, а катоды электродуговых испарителей выполнены из пластин длиной 80...3000 мм и шириной 30...500 мм, что обеспечивает зону обработки установки достаточного для качественной обработки длинномерных изделий размера.

Таким образом, предлагаемая полезная модель позволяет достичь поставленного технического результата - повысить экономичность процесса обработки за счет снижения расхода распыляемого материала и снизить трудоемкость подготовки установки к работе после предыдущей обработки.

2008117924



Фиг.