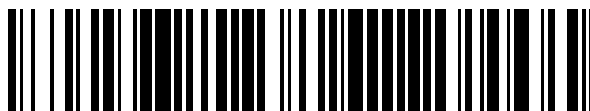


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 378 327**

51 Int. Cl.:

C23C 14/35 (2006.01)

C23C 28/00 (2006.01)

C23C 14/56 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06847390 .9**

96 Fecha de presentación: **26.07.2006**

97 Número de publicación de la solicitud: **2050837**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **22.04.2009**

54 Título: **Procedimiento para la aplicación mediante plasma iónico de revestimientos de película y dispositivo para llevar a cabo el procedimiento**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
11.04.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
11.04.2012

73 Titular/es:
Naco Technologies, SIA
Sergeja Eizensteina iela 63-32
Riga 1079, LV

72 Inventor/es:
Spivakov, Dmitry Davidovich y
Mitin, Valery Semenovich

74 Agente/Representante:
de Elzaburu Márquez, Alberto

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

ES 2 378 327 T3

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la aplicación mediante plasma iónico de revestimientos de película y dispositivo para llevar a cabo el procedimiento.

5 La invención se refiere a un dispositivo según el preámbulo de la reivindicación 1 y a un procedimiento para aplicar el dispositivo.

La invención se refiere a un dispositivo con medios para producir diversas capas de cobertura mediante la pulverización por plasma iónico, en donde los materiales se depositan en forma atómica o iónica como fase vapor sobre la superficie del sustrato mediante descarga eléctrica. La invención se puede aplicar en la electrónica, la electrotecnia, la industria nuclear, la óptica y otros sectores industriales.

10 El desarrollo de la ciencia, de las tecnologías y de la técnica está ligado a la fabricación de materiales cuyo empleo posibilite un nivel fundamentalmente nuevo de las características funcionales de los productos. A menudo, estas características están determinadas por las propiedades de la superficie de trabajo de los productos, que se forman mediante el revestimiento con capas de composición preestablecida y propiedades preestablecidas.

15 Un método conocido para el revestimiento se basa en la pulverización del material mediante descarga eléctrica en un gas a baja presión y la deposición de átomos o iones de este material sobre el sustrato con formación de la capa de cobertura. Es generalmente conocido que la eficacia de pulverización puede ser incrementada sustancialmente por un campo magnético que atraviese el campo eléctrico y forme un lugar de adherencia para los electrones generados en la ionización. Mediante el empleo de la pulverización magnetronica se puede aumentar en un orden de magnitud la velocidad de pulverización del blanco y de deposición del material sobre el sustrato. Además, el
20 proceso puede llevarse a cabo bajo una presión de gas que no sea tan baja y con un intenso bombardeo iónico del sustrato. De este modo se mejoran la adherencia y la estructura de la capa.

25 El procedimiento para la pulverización magnetronica del blanco mediante plasma iónico y revestimiento de diversos artículos es, por tanto, un método muy eficaz para la deposición de películas delgadas. Este procedimiento permite obtener, a coste relativamente bajo, diversas capas homogéneas que están sólidamente fijadas al sustrato y se encuentran unidas al mismo a nivel molecular. En la actualidad esta tecnología se aplica extensamente en la investigación y el desarrollo industrial para producir una nueva generación de productos ligeros y duraderos.

Sin embargo, el estado actual de desarrollo del procedimiento magnetronico de plasma iónico no permite expandir sus áreas de aplicación a la fabricación de muchos grupos de productos que se emplean en diversos sectores de la técnica. Estas restricciones están causadas por:

- 30 1) velocidades de revestimiento relativamente bajas (máximo 5 $\mu\text{m}/\text{hora}$);
- 2) insuficiente grado de activación iónica y debilitamiento de la adhesión en caso de espesores de capa superiores a 5 μm ;
- 3) dificultades en el revestimiento conjunto con materiales cuyos coeficientes de revestimiento difieran sustancialmente;
- 35 4) y elevados requisitos para la calidad de la superficie del sustrato (la rugosidad superficial no debe ser superior a 0,2 - 0,3 μm).

40 Las limitaciones mencionadas están relacionadas con el hecho de que en los dispositivos conocidos es imposible conseguir una densidad de potencia de descarga superior a 40 W por 1 cm^2 de superficie del magnetron en la zona de erosión máxima del mismo. Con tales potencias específicas relativamente poco elevadas, la intensidad de pulverización de cada componente de revestimiento viene determinada en un grado significativo por su coeficiente de pulverización. Aparte de esto, es prácticamente imposible ajustar la relación másica de los componentes de revestimiento en la fase vapor. Por tanto, cuando se aplica el procedimiento al revestimiento con capas compuestas surgen importantes problemas tecnológicos que limitan sustancialmente las posibilidades de aplicación. Cuando es difícil fusionar juntos o prensar juntos los materiales de los componentes del revestimiento para preparar un blanco de una forma dada (plancha, casquillo o tubo), hay que realizar una pulverización separada de los componentes (por ejemplo, utilizando blancos en mosaico). Así se preparan, por ejemplo, capas de cobertura a base de carbono y de metal, llevando a cabo una pulverización separada de los blancos de grafito y de cromo (véase la patente GB 2258343, C 23 C 14/34, 1997). Para ello hay que resolver en cada caso específicos complicados problemas para el cálculo de las geometrías del blanco, el ajuste fino de las velocidades de pulverización de cada uno de los
45 componentes y los parámetros tecnológicos del proceso de pulverización. Constituyen problemas adicionales la agitación homogénea de las corrientes atómicas de vapor de los componentes a pulverizar y también la deposición uniforme de los componentes sobre el sustrato en forma de una capa que tenga la composición preestablecida. Representa un inconveniente adicional de la pulverización separada de los blancos el hecho de que resulta complicado producir por este método capas de tres y más componentes. Esto ocurre, en especial, cuando los
50 coeficientes de pulverización de estos materiales de blanco son significativamente distintos y dependen fuertemente de los parámetros de proceso (por ejemplo la presión de trabajo, temperatura, permeabilidad magnética, intensidad

de corriente y tensión de descarga). En un procedimiento conocido para el revestimiento en un dispositivo magnetrónico con un blanco de disco en mosaico, dispuesto sobre el cátodo, y un ánodo plano para soportar los sustratos (véase la solicitud de patente JP 61-54112, C 23 C 14/36, 1986) se ha propuesto la solución del problema de la proporción de componentes en la capa. Según la invención, se dispone bajo el cátodo un imán que genera un campo magnético que discurre ortogonalmente al campo eléctrico entre los electrodos. Fuera de la cámara de vacío, en la región del plano de la superficie de trabajo del cátodo, están dispuestos devanados de generador para producir un campo magnético que discurre paralelamente al campo eléctrico entre los electrodos. Durante el revestimiento se modifica la intensidad del campo magnético, con lo cual se concentra sobre uno u otro de los elementos del blanco la zona de máximo efecto del plasma sobre el blanco en mosaico. Esto permite regular la intensidad de pulverización de cada uno de los componentes del blanco, así como su contenido en el revestimiento. El procedimiento permite disponer de medios adicionales para controlar el proceso y producir capas de composición variable, especialmente cuando se utilizan blancos en mosaico. El inconveniente de este procedimiento reside en una velocidad de pulverización del blanco relativamente baja y en consecuencia una baja productividad en el caso de fabricar productos con capas relativamente gruesas.

Es conocido un procedimiento para la deposición mediante plasma iónico de capas de película multicomponente con aplicación de un campo magnético cerrado, así como el dispositivo para su ejecución, que es fabricado por la empresa Teer Coatings LTD (véase la patente de EE.UU. número 5 556 519). En este procedimiento se utilizan magnetrones que están ejecutados en forma de polos externo e interno, que están dirigidos en sentido contrario. Además, al menos un magnetrón es no equilibrado y los magnetrones contiguos están dispuestos principalmente con polos externos de polaridad opuesta, de manera que la zona de deposición, en la cual está situado el sustrato, está rodeada predominantemente por las líneas cerradas del campo magnético. El campo magnético es generado por los polos externos de los magnetrones contiguos. Además, al sustrato se le aplica un desplazamiento eléctrico y está configurado como cátodo, a fin de atraer a los iones con carga positiva.

Según una variante de realización de la invención según la patente de EE.UU. número 5 556 519, el dispositivo contiene, para la puesta en práctica de la invención, una cámara conectada a tierra, un dispositivo anódico situado en la cámara, medios para generar el campo eléctrico; medios dispuestos en el centro de la cámara para soportar el sustrato, al que se aplica un desplazamiento eléctrico por medio de los mencionados medios eléctricos a fin de atraer los iones hacia el sustrato, medios para generar el campo magnético, que contienen al menos dos magnetrones, al menos uno de los cuales es no equilibrado, cada magnetrón tiene polos magnéticos anulares externo e interno dirigidos en sentido contrario, en donde el polo externo de al menos un magnetrón y el polo externo de su magnetrón contiguo tienen polaridad opuesta y cierran el campo magnético para evitar una pérdida sustancial de electrones en la zona comprendida entre los magnetrones; los polos internos y externos de los magnetrones tienen un elevado potencial eléctrico con respecto a la mencionada cámara conectada a tierra, con lo cual se incrementa la densidad de la corriente iónica que se deposita sobre el sustrato.

Un procedimiento y dispositivo conocidos, que son lo más próximo a la presente invención, permiten incrementar sustancialmente la eficacia de la ionización, la pulverización de los materiales de blanco y la deposición de estos materiales sobre el sustrato. Sin embargo, en el caso de la deposición de capas compuestas que se componen de materiales cuyos coeficientes de pulverización difieran sustancialmente (especialmente en caso de utilizar blancos en mosaico), el método conocido y el aparato para su ejecución no permiten una elevada productividad del proceso en la deposición de capas relativamente gruesas. Esto se explica por el hecho de que en el procedimiento conocido resulta difícil conseguir una elevada densidad de potencia de descarga (superior a 40 W/cm^2 del magnetrón) a causa de la pérdida de concentración del plasma en la vecindad del cátodo con campo magnético no equilibrado.

Con potencias específicas relativamente poco elevadas se originan las limitaciones tecnológicas mencionadas, que afectan a las posibilidades funcionales de la tecnología en la fabricación de productos para distintas finalidades de uso. Por lo tanto, el procedimiento conocido no siempre se puede utilizar eficazmente en la deposición de capas compuestas y relativamente gruesas. Así, al revestir materiales de baja conductividad eléctrica o dieléctricos (por ejemplo cerámica o vidrio) no se llega a conseguir una suficiente activación de la superficie. En este caso hay que bombardear la superficie con un haz de iones independiente o bien aplicar al sustrato un potencial de alta frecuencia.

Es propósito de la invención perfeccionar el dispositivo conocido, con el fin de aumentar la productividad y la aplicabilidad del proceso para depositar capas de película multicomponentes de diversa composición y grosor elevado cuando se utilizan blancos de mosaico.

La tarea técnica a resolver consiste en la elección de parámetros óptimos del proceso de revestimiento con la finalidad de aumentar la intensidad de ionización útil y también proporcionar un dispositivo que haga posible depositar, en el estado de funcionamiento estable, y con elevada velocidad de pulverización, las capas de película multicomponente de composición preestablecida a partir de blancos en mosaico.

La tarea propuesta se logra mediante las características de la reivindicación 1.

El dispositivo comprende:

- una cámara conectada a tierra y un dispositivo anódico situado en la cámara;
 - medios para generar el campo eléctrico;
 - un mecanismo de carrusel planetario situado en el centro de la cámara para soportar los artículos a revestir, al cual se aplica un desplazamiento eléctrico a través de los mencionados medios eléctricos a fin de atraer los iones hacia los artículos;
 - un sistema para generar el campo magnético, que contiene dos magnetrones no equilibrados situados uno frente a otro, en donde cada magnetrón no equilibrado tiene los polos magnéticos anulares externo e interno dirigidos en sentido contrario y en donde el polo externo de un magnetrón y el polo externo del otro magnetrón tienen polaridad opuesta;
 - al menos dos magnetrones de alta velocidad equilibrados refrigerados, cada magnetrón equilibrado tiene polos magnéticos anulares externo e interno dirigidos en sentido contrario, en donde el polo externo de un magnetrón y el polo externo del otro magnetrón tienen polaridad opuesta;
 - en los intersticios entre dos pares de los magnetrones no equilibrados y equilibrados, que se encuentran entre sus polos magnéticos anulares externos que tienen la misma polaridad, están dispuestas dos fuentes de iones con cátodo frío instaladas una frente a otra, que están ejecutadas como polos magnéticos anulares interno y externo dirigidos en sentido contrario, en donde el polo externo de cada fuente de iones y los polos externos de los magnetrones no equilibrados y equilibrados más próximos tienen polaridad opuesta
- y
- en otros dos intersticios entre dos pares de los magnetrones no equilibrados y equilibrados, que se encuentran entre sus polos magnéticos anulares externos de polaridad opuesta, están dispuestas dos fuentes de iones metálicos por arco eléctrico instaladas una frente a otra, con bobinas estabilizadoras.

Según una forma de realización particular del dispositivo, en el centro de la cámara está situado un dispositivo para calentar los artículos.

- Según otra forma de realización particular del dispositivo, las carcassas de los magnetrones equilibrados están dotadas de cavidades internas de 50 a 85 mm de ancho para la refrigeración, en donde se sitúan los polos magnéticos. Entre el polo central y el externo del magnetrón está formado, en forma de una ranura entre el blanco y la cara frontal de la pieza separadora entre los polos del magnetrón, un canal para que circule refrigerante. La anchura de la ranura corresponde a la distancia entre los polos, y mide de 10 a 20 mm. La altura de la ranura corresponde a la distancia entre la superficie de la pieza separadora y la superficie refrigerante del blanco, y mide de 4 a 6 mm.

El dispositivo según la reivindicación 1 se aplica y se emplea para el revestimiento con las siguientes operaciones:

- preparación de los magnetrones no equilibrados con blancos homogéneos,
- preparación de los magnetrones no equilibrados con blancos en mosaico, colocación de los artículos en el mecanismo de carrusel planetario,
- preparación del dispositivo para el trabajo, erosión iónica y activación de los artículos por medio de los magnetrones no equilibrados con una densidad de potencia de descarga de 5 a 40 W/cm²,
- activación suplementaria de los artículos por medio de una fuente de iones que genera iones de gas (por ejemplo, una de iones de argón con una tensión de aceleración de hasta 5000 V) o activación y saturación de la capa superficial con metal o gas por medio de una fuente por arco eléctrico que produce iones metálicos o de gas (por ejemplo iones de nitrógeno) con una tensión de desplazamiento de 1700 V en el artículo,
- calentamiento de los artículos por medio de un calentador hasta una temperatura de 250 a 1200°C,
- deposición de la capa primaria por medio de los magnetrones no equilibrados con una densidad de potencia de descarga de 5 a 40 W/cm²,
- deposición de las capas secundarias con hasta 10 µm de espesor mediante el empleo simultáneo de los magnetrones no equilibrados con una densidad de potencia de descarga de 5 a 40 W/cm² y de los magnetrones equilibrados con una densidad de potencia de descarga de 40 a 500 W/cm² y una inducción remanente del campo magnético de 0,03 T hasta 0,1 T,
- deposición de la capa principal mediante el empleo simultáneo de los magnetrones no equilibrados con una densidad de potencia de descarga de 5 a 40 W/cm² y de los magnetrones equilibrados con una densidad de potencia de descarga de 40 a 500 W/cm² y una inducción remanente del campo magnético de 0,03 T hasta 0,1 T,

- deposición de la capa principal con estructura nanocristalina multicapa mediante el empleo simultáneo de los magnetrones no equilibrados con una densidad de potencia de descarga de 5 a 40 W/cm² y de los magnetrones equilibrados con una densidad de potencia de descarga de 40 a 500 W/cm² y una inducción remanente del campo magnético de 0,03 T hasta 0,1 T, así como de las fuentes por arco eléctrico con una corriente de arco de 40 a 160A y una tensión de 40 a 80V.

Según otra forma de realización del dispositivo, primeramente se calientan los artículos hasta una temperatura de 250 a 1200°C, y después se calienta suplementariamente la superficie de los artículos hasta una temperatura de 1500°C mediante bombardeo suplementario con iones metálicos y/o de gas. Los iones son generados por medio de fuentes por arco eléctrico con una tensión de desplazamiento de 1700 V aplicada al artículo.

Conforme a la invención, por lo tanto, se ha desarrollado un sistema de pulverización magnetrónica para deposición iónica de las capas, en el cual se utiliza un par de magnetrones equilibrados de alta velocidad enfriados, con blancos homogéneos. Además, los magnetrones equilibrados presentan parámetros tecnológicos (densidad de potencia de descarga de 40 a 500 W/cm² e inducción remanente del campo magnético de 0,03 T hasta 0,1 T) tales que, en el estado de funcionamiento estable, la atomización de los fragmentos del blanco en mosaico es proporcional a la superficie activa y no depende propiamente de los coeficientes de pulverización catódica de los mismos.

El dispositivo de pulverización magnetrónica desarrollado incluye también un par de fuentes de iones metálicos por arco eléctrico con bobinas estabilizadoras, con las cuales se puede modificar radicalmente la proporción ión-átomo. El sustrato puede ser bombardeado en distintas fases del proceso de revestimiento, y se puede realizar dopaje iónico de las capas superficiales de los artículos con metal y/o gas (por ejemplo nitrógeno). El acoplamiento en parejas de los magnetrones equilibrados y no equilibrados y de las dos fuentes de iones instaladas entre ellos. Las dos fuentes de iones metálicos por arco eléctrico en calidad de pulverizadores generan el campo magnético, que forma un lugar de adherencia eficaz para los electrones. La peculiaridad de la generación de campo magnético del dispositivo propuesto es que, con independencia de las diferentes conexiones de los magnetrones, de las fuentes de iones y de las fuentes por arco eléctrico, durante el proceso de revestimiento si:

a) sólo funcionan magnetrones no equilibrados

b) sólo funcionan fuentes de iones

c) sólo funcionan pulverizadores por arco eléctrico,

d) funcionan juntos magnetrones no equilibrados y equilibrados, funcionan juntos todos los dispositivos antes mencionados (es decir, en cualquier variante de ejecución de los modos de funcionamiento del dispositivo propuesto) tiene lugar el cierre del campo magnético y se forma un lugar de adherencia eficaz para los electrones. Esta peculiaridad del dispositivo propuesto hace posible incrementar sustancialmente el grado de ionización y conseguir la elevada densidad de potencia de descarga de 40 a 500 W/cm² y una inducción remanente del campo magnético de 0,03 T hasta 0,1 T en la zona de máxima erosión de la superficie del blanco.

La invención se explica a continuación con más detalle, por medio de un ejemplo de realización esquemáticamente ilustrado en los dibujos. En éstos:

la Figura 1 muestra una sección transversal a través del dispositivo caracterizante y

la Figura 2 muestra una parte de la sección transversal del magnetrón equilibrado de alta velocidad enfriado.

En la Figura 1 se muestra la sección transversal del dispositivo de revestimiento conforme a la invención con el plan de situación de los magnetrones equilibrados y no equilibrados, las fuentes de iones, las fuentes por arco eléctrico, el calentador y el mecanismo de carrusel planetario para la colocación de los artículos.

En una cámara estanca 1 (véase la Figura 1) están situados uno frente a otro dos magnetrones no equilibrados 2 con polos magnéticos anulares interno 3 y externo 4. En la superficie interna de los magnetrones 2 están fijados blancos fabricados de un material homogéneo. En la cámara 1 también están situados dos magnetrones de alta velocidad equilibrados refrigerados 6 con polos magnéticos anulares interno 7 y externo 8 situados uno frente a otro. En la superficie interna de los magnetrones 6 están fijados los blancos en mosaico 9. En los intersticios entre dos pares de los magnetrones no equilibrados 2 y los magnetrones equilibrados de alta velocidad 6, que se encuentran entre sus polos magnéticos anulares externos con igual polarización 4 y 8, están situadas dos fuentes de iones 10 con cátodo frío instaladas una frente a otra. Las fuentes de iones 10 están ejecutadas como polos magnéticos anulares interno 11 y externo 12 dirigidos en sentido contrario, teniendo polaridad opuesta los polos magnéticos anulares externos 12 de cada una de las fuentes de iones y los polos magnéticos anulares externos 4 y 8 de los magnetrones no equilibrados y equilibrados más próximos 2 y 6. En otros dos intersticios entre dos pares de los magnetrones no equilibrados 2 y de los magnetrones equilibrados de alta velocidad 6 están situadas dos fuentes de iones metálicos por arco eléctrico 23 con bobinas estabilizadoras 24. En el centro de la cámara 1 está situado un mecanismo de carrusel planetario 13 para soportar los artículos a revestir. Los artículos están conectados

eléctricamente al potencial negativo para atraer iones positivos. En el mecanismo de carrusel planetario 13 está situado el calentador 14 para calentar los artículos hasta una temperatura de 1200°C.

En la cavidad refrigerada por agua del cátodo 15 (véase la Figura 2) está situado un sistema magnético equilibrado, que está ejecutado en forma de un magnetrón equilibrado de alta velocidad. El magnetrón de alta velocidad 6 está ejecutado con polo magnético anular interno 7 y polo magnético anular externo 8, que están separados por una pieza separadora 16 fabricada de un material no magnético. El blanco en mosaico está ejecutado como un conjunto de tres tipos de los insertos de 17, 18 y 19 que tienen distintos coeficientes de pulverización. Los insertos de blanco están montados sobre la placa delgada 20 constituida por material de alta conductividad térmica y están presionados contra esta placa. Con la pieza 21 se presionan los insertos de blanco contra la carcasa 15 por medio de juntas 23. Entre la cara posterior de la placa 20 y las caras frontales del magnetrón se crean, en la anchura de 10 a 20 mm de la pieza separadora 16, las ranuras 22 que tienen una amplitud de 4 a 6 mm. Las ranuras 22 forman el canal para que circule el líquido refrigerante y están conectadas al sistema de aporte y evacuación de refrigerante. La anchura de la cavidad de la carcasa 15 para disponer los subconjuntos catódicos enfriados asciende a 50 hasta 85 mm.

A continuación se describen con más detalle el procedimiento propuesto y el principio funcional del dispositivo, por medio de ejemplos de realización referidos a la deposición de capas de distinto espesor.

Ejemplo 1

Se depositó un revestimiento nanoestructurado, multicapa y multicomponente, de carbono, niobio, níquel sobre un sustrato de acero IIX-15. El revestimiento se creó sobre una varilla de acero IIX-15 de 12 mm de diámetro y 150 mm de longitud. El revestimiento se utilizó para lograr un efecto de lubricación sólida y para asegurar la resistencia al desgaste de pares de fricción, entre ellos cojinetes de deslizamiento y de rodamiento.

Para el revestimiento se utilizó el dispositivo según la reivindicación 1. El dispositivo incluye dos magnetrones no equilibrados 2 con blancos monolíticos de 350 x 145 x 10 mm. Uno de los blancos está construido de cromo BX-1, y el otro está construido de grafito МПГ-7. Se utilizó el cromo como capa subyacente bajo la capa principal con vistas a la adherencia, y el grafito como el material principal constituyente de la capa de lubricación sólida.

La capa principal de lubricación sólida a base de carbono y niobio en la proporción: C = 95 por ciento en átomos y Nb = 5 por ciento en átomos se depositó por medio de dos magnetrones ПК-350 (6) con sistemas magnéticos equilibrados, que tenían una inducción remanente del campo magnético de 0,065 T, con 12 blancos en mosaico de 350 x 100 x 10 mm contruidos de grafito con insertos de niobio de 12 mm de diámetro. Los blancos en mosaico estaban situados de manera regular a lo largo de la línea axial de la zona de erosión máxima del cátodo. La superficie activa de los insertos de niobio ascendía al 5% de la superficie total del blanco en mosaico en su zona de erosión máxima. El blanco en mosaico fue sometido a una pulverización previa en el estado de funcionamiento. La distancia entre la superficie del artículo y los cátodos de los magnetrones equilibrados 6 fue de 50 mm durante el revestimiento.

Para depositar la capa de níquel (que separa las monocapas individuales que forman la capa principal de lubricación sólida a base de carbono y niobio) se utilizaron dos vaporizadores por arco eléctrico 23 con cátodos a base de níquel H-1. La distancia entre la superficie del artículo y el cátodo del vaporizador por arco eléctrico 23 fue de 250 mm.

Para limpiar la superficie de los artículos se utilizaron dos fuentes de iones 10 con cátodo frío que tenían una zona de trabajo de 350 mm, y un calentador 14 para calentar los artículos hasta temperaturas de 350°C.

La deposición del revestimiento multicapa se llevó a cabo según el siguiente esquema y funcionamiento:

Los artículos en varilla fueron colocados en casetes en las posiciones giratorias de la mesa planetaria 13 del carrusel. La cámara de trabajo 1 fue evacuada hasta una presión de $2,6 - 3,9 \cdot 10^{-4}$ Pa. Se aplicó un potencial de desplazamiento negativo de -900 V a la mesa de carrusel 23, con los artículos, y se puso en marcha la rotación.

Después se puso en funcionamiento la fuente de iones 10 con los siguientes parámetros de funcionamiento: vacío: 0,06 - 0,08 Pa, gas: argón, densidad de la corriente iónica: 15 mA/cm², tiempo: 10 minutos. Durante el funcionamiento de la fuente de iones 10 se puso en marcha el calentador 14, y la temperatura se incrementó hasta 350°C. El elemento calefactor (una cinta de acero inoxidable) tenía 0,3 mm de grosor. La temperatura de calentamiento de la cinta: 800 ± 50 °C y el tiempo de calentamiento: 20 minutos.

Para depositar la capa subyacente a base de cromo, con un espesor de 0,3 a 0,5 µm, se pusieron en marcha simultáneamente dos magnetrones no equilibrados 2 y se incrementó la presión de argón en la cámara de trabajo 1 hasta 0,1 - 0,12 Pa. Se aplicó el siguiente funcionamiento de los magnetrones 1: densidad de potencia de descarga: 10 - 15 W/cm², densidad de corriente: 18 - 27 mA/cm², potencial de desplazamiento en el sustrato: 40 V, tiempo de trabajo: 20 minutos.

Después se desconectó el magnetron 2 con el blanco de cromo, se incrementó la presión hasta 0,26 - 0,4 Pa y se pusieron en marcha dos magnetrones equilibrados 6 nK-350 para depositar la capa principal con un espesor total de 9,5 μm .

- 5 Se aplicó para ello el siguiente funcionamiento de los magnetrones 6: densidad de potencia de descarga: 60 - 70 W/cm^2 , densidad de corriente: 120 - 140 mA/cm^2 , potencial de desplazamiento: 40 V, tiempo de trabajo: 90 minutos.

Durante la deposición de la capa principal de carbono-niobio se conectaron de forma intermitente (cada 3 minutos) dos pulverizadores por arco eléctrico 23. El tiempo total de funcionamiento de los pulverizadores por arco eléctrico 23 fue de 9,3 minutos en 28 ciclos de conexión, con una corriente de 70 A. El espesor total de la capa de níquel fue de 2,5 μm .

- 10 En la superficie del artículo se produjo, por tanto, una capa de lubricación sólida con la composición atómica de 95% de C y 5% de Nb.

La calidad de la capa depositada fue comprobada de acuerdo con las siguientes metodicas estándar:

- 15 El espesor de capa se midió en la probeta para ensayo de acuerdo con el método de "pulimento con esfera". Para ello se creó en la probeta para ensayo, esto es, un disco de $\varnothing$ 30 mm y 3 mm de grueso, un cráter de pulimento. Se excavó en la película un cráter mediante frotamiento con una esfera de $\varnothing$ 30 mm y se midió el espesor de la capa con un microscopio óptico MMy-3.

Se comprobó nuevamente el espesor durante el análisis de la composición y la estructura con el microscopio electrónico de barrido (siglas inglesas SEM) PHILIPS XL-30 con microanalizador de rayos X y detector de dispersión de energía Saphire.

- 20 Para ello se utilizó una probeta para ensayo en forma de una placa de 20 x 5 x 3 mm, que se había plegado previamente en un ángulo de 180°. La medición se realizó en los lugares de flexión y de formación de la grieta.

- 25 Mediante una probeta para ensayo (un disco cuya superficie había sido pulida antes del revestimiento hasta una rugosidad de 0,3 a 0,5 μm) se midió la adherencia conforme al método del "ensayo de rayado". Se utilizó como cuerpo de ensayo una pirámide de diamante. El intervalo de carga se situó en 10 hasta 80 N. El tipo de fractura descubierta era del tipo de adherencia, a una carga máxima de 80 N.

- 30 Las características principales de la capa (el coeficiente de rozamiento por deslizamiento y la resistencia al desgaste) se comprobaron y analizaron en un banco para ensayos de "punta sobre disco" con una carga de 10, 20, 40 y 80 N. Para ello se utilizó una probeta para ensayo (un disco de 30 mm de diámetro y 3 mm de grueso), una de cuyas caras se había revestido con la capa a ensayar. Como cuerpo de prueba de desgaste se utilizó una esfera de 0,5 mm de acero WXX-15. El coeficiente de fricción observado fue de 0,15 con una carga de 80 N. El desgaste fue de $2 \times 10^{-17} \text{ m}^3/\text{mN}$ (sin capa, el coeficiente de fricción acero-acero es de 0,8 - 0,9 y el desgaste es $6 \times 10^{-13} \text{ m}^3/\text{mN}$).

Ejemplo 2

- 35 Se preparó un blanco en mosaico para depositar capas de película tricomponente a base de cobre, zirconio y carbono, con proporciones respectivas de 50 por ciento, 25 por ciento y 25 por ciento en átomos. Este revestimiento tiene un bajo coeficiente de fricción (inferior a 0,3) y propiedades mecánicas próximas a las del acero para construcción. Como material de blanco se utilizó una placa de cobre con una superficie de la zona de erosión de 108 cm^2 . En esta superficie se colocaron, en orificios pasantes practicados en el blanco, 28 insertos cilíndricos de 16 mm de diámetro, en concreto 14 insertos de circonio y 14 insertos de grafito. La distancia entre los insertos vecinos de circonio y grafito era de 20 mm, y la distancia entre insertos del mismo tipo era, por tanto, de 40 mm.
- 40 Sobre el blanco con los insertos se depositó en su cara posterior, bajo vacío, una capa para soldar, que se componía de una capa de adherencia de titanio y una capa principal de cobre. La capa de titanio se utilizó para mejorar la adherencia entre la capa de cobre y los insertos de carbono. Esta capa tenía de 2 a 5 μm de espesor. El espesor de la capa de cobre para soldar era de 10 a 15 μm . Una vez aplicadas las capas se estañó esta superficie con soldadura blanca. El blanco fue soldado a la capa subyacente de cobre. La capa de base era una chapa de cobre con un grosor de 0,2 mm. Se colocó el blanco en mosaico en la carcasa de cátodo refrigerada por agua del magnetron por encima del sistema magnético. Después se llevó a cabo la operación final para preparar el blanco mediante pulverización previa en condiciones de funcionamiento. La pulverización previa del blanco se llevó a cabo en un sistema magnetronico equilibrado, con los siguientes parámetros: inducción remanente del campo magnético = 0,035 T; presión de trabajo del argón = 0,5 Pa; densidad de potencia de descarga del magnetron = 28 W/cm^2 ; tensión de pulverización = 540 V; corriente de descarga = 5,6 A; tiempo de pulverización = 25 minutos. Los coeficientes de pulverización del cobre, circonio, y grafito, con una tensión de descarga de 500 a 600 V son respectivamente: 2,1, 0,85 y 0,24. La comprobación, por medio de una sonda micrométrica, de los blancos producidos demostró que las superficies de trabajo del blanco de cobre y de los insertos de circonio sobrepasaban a la superficie de trabajo de los insertos de grafito en 0,1 y 0,04 mm, respectivamente.

- 55 El análisis de las capas que se habían preparado utilizando el blanco en mosaico después de la pulverización previa del mismo mostró que la composición de las capas producidas correspondía, en porcentajes atómicos,

aproximadamente a un contenido de 50% de cobre, 25% de circonio y 25% de carbono. Es decir, el contenido de los componentes en la capa correspondía a la superficie de sus fragmentos en la zona de máxima erosión del blanco.

Ejemplo 3

5 Se depositó por medio de un blanco en mosaico una capa multicomponente resistente al calor a base de aleación de tungsteno-molibdeno con un contenido de tungsteno variable dentro del espesor de la capa, de hasta 20 μm de espesor, sobre el sustrato de molibdeno. El propósito del revestimiento era asegurar la resistencia al calor de un crisol de molibdeno en contacto con una masa fundida de óxido de aluminio a una temperatura de aproximadamente 2100°C y un tiempo de permanencia prolongado, superior a 35 horas.

10 Para el revestimiento se aplicó el dispositivo según las reivindicaciones 1, 2 y 3. El revestimiento se llevó a cabo de la siguiente manera. Para la adhesión y la preparación de la capa de transición se instaló en el primer magnetron no equilibrado 2 un blanco de molibdeno, y en el segundo magnetron no equilibrado 2 un blanco de tungsteno. La deposición de la capa principal se realizó por medio de los magnetrones equilibrados 6, que están provistos de blancos en mosaico de tungsteno y de molibdeno con una proporción 80:20 en áreas de las superficies de trabajo de los componentes. La capa de superficial de tungsteno puro fue depositada por medio de dos evaporadores por arco eléctrico 23.

La activación y el calentamiento del sustrato de molibdeno se realizaron por medio de las fuentes de iones 10, el calentador 14 y el evaporador por arco eléctrico 23. El proceso se realizó con el siguiente modo de operación:

20 Se colocaron los artículos en forma de crisoles de molibdeno en el carrusel 13 con la superficie de trabajo dirigida hacia las fuentes de iones 10, a una distancia de 100 mm. En este caso, la distancia a los magnetrones no equilibrados era de 2 - 70 mm, a los magnetrones equilibrados era de 6 - 20 mm y a las fuentes por arco eléctrico era de 23 - 150 mm.

25 Se evacuó la cámara de trabajo 1 hasta una presión residual de $6,6 \cdot 10^{-4}$ Pa. Después se calentaron los artículos hasta una temperatura de 850°C y se aumentó la presión hasta 0,10 - 0,12 Pa. Se dejó entrar gas argón en la cámara 1 y se puso en marcha la fuente de iones 10 con una densidad de corriente de 30 mA/cm² y primeramente con un potencial de desplazamiento (en el transcurso de 10 minutos) hasta 900 V. Después se redujo el potencial de desplazamiento hasta 40 V, se apagaron las fuentes de iones 10 y se depositó la capa de transición de 1 μm de espesor, en el transcurso de 30 minutos, con una densidad de potencia de 30 W/cm² y una densidad de corriente de 50 mA/cm². Después se pusieron nuevamente en marcha dos magnetrones equilibrados 6 con blancos en mosaico y una relación de áreas de las superficies de trabajo de los componentes (tungsteno y molibdeno) de 50:50. En el transcurso de 30 minutos se depositó la capa de 6,0 μm de espesor con una densidad de potencia de 80 W/cm², una inducción remanente del campo magnético = 0,095 T y una densidad de corriente de 150 mA/cm². Después se desconectaron los magnetrones no equilibrados 2 y los magnetrones equilibrados 6 y se pusieron en marcha los magnetrones equilibrados 6 con blancos que tenían una relación de áreas de las superficies de trabajo de los componentes (tungsteno y molibdeno) de 80: 20. En el transcurso de 40 minutos se depositó la capa de 10 μm de espesor, con una densidad de potencia de 150 W/cm² y una densidad de corriente de 300 mA/cm². Después se apagaron los magnetrones 2 y 6 y se puso en marcha el evaporador por arco eléctrico 23 con una corriente de 180 A. Así se depositó la capa superficial de tungsteno puro con un espesor de 8 μm .

40 El examen de los crisoles con tal revestimiento mostró que la resistencia al calor está asegurada sin exfoliación, la salida de gas desde el sustrato está bloqueada y la compatibilidad de la masa fundida de óxido de aluminio con el material del crisol está asegurada a una temperatura de hasta aproximadamente 2100°C con una duración de la fusión de 35 horas.

Ejemplo 4

Se revistió un sustrato de cerámica de óxido de berilio (aislante) con una capa tricomponente de niobio-molibdeno-níquel.

45 Para la soldadura fuerte (material de soldadura ПСР-72) del sustrato de cerámica a la base disipadora de calor construida en metal se prepararon capas adherentes tricomponentes de niobio-molibdeno-níquel disipadoras de calor, con un espesor total de 15 μm . Una capa semejante reemplaza a una capa de película gruesa sobre la base de la fase de molibdeno-vidrio, que tiene una baja conductividad térmica y una adhesión inestable.

50 El dispositivo contenía todos los componentes de acuerdo con las reivindicaciones 1, 2, 3: fuentes de iones 10 para la preactivación, magnetrones no equilibrados 2 para la deposición de capas de adherencia de niobio con 1,5 - 2,0 μm de espesor, magnetrones equilibrados 6 para la deposición a alta velocidad de la capa constructiva de molibdeno, de 10 - 12 μm de espesor, evaporador por arco eléctrico 23 para depositar la capa de níquel para soldar, de 3 - 4 μm de espesor, calentador 14 para mantener la temperatura de activación hasta 850°C. Durante la deposición de la capa se siguió la siguiente secuencia y funcionamiento de los dispositivos: se puso en marcha la fuente de iones 10 situada a una distancia de 100 mm de la superficie a revestir y dentro de los primeros 10 minutos del proceso con una densidad de corriente de iones de 30 mA/cm² y una presión de argón de 0,1 - 0,12 Pa. Se puso en marcha el calentador 14 desde el principio del proceso para calentar los artículos hasta 850°C y se desconectó

una vez terminada la deposición de níquel. Para depositar la capa de 1,5 μm de espesor se pusieron en marcha los magnetrones no equilibrados 2 durante un período de funcionamiento de 20 minutos tras 10 minutos de activación y calentamiento de la superficie de los artículos, con una densidad de potencia de descarga de 40 W/cm^2 , una distancia de 50 mm desde la superficie del artículo y una presión de argón de 0,26-0,4 Pa. Para depositar la capa de 12 μm de espesor se pusieron en marcha los magnetrones equilibrados 6 con una inducción remanente del campo magnético de 0,099 T durante 60 minutos de funcionamiento después de depositar la capa de niobio con una distancia de 30 mm desde la superficie del artículo y una presión de argón de 0,26-0,4 Pa. Para depositar la capa de níquel de 3,5 μm de espesor se pusieron en marcha los evaporadores por arco eléctrico 23 en la etapa final del proceso durante 30 minutos con una presión de argón de 0,1 - 0,12 Pa y una corriente de 70 A. Los productos fueron analizados en cuanto a solidez de adhesión entre la capa y la cerámica. Las pruebas se realizaron con la máquina de rotura "Instron" y mostraron que se había alcanzado el valor σ_B de 6 kg/mm^2 . El comportamiento de desprendimiento de capa correspondió al límite de resistencia de la cerámica según las características de la destrucción de cerámica. La adhesión capa-cerámica correspondió a los valores de resistencia a la tracción para cerámica.

Ejemplo 5

Se preparó un blanco en mosaico para depositar capas de película tricomponente de cobre, zirconio y carbono, con proporciones respectivas de 50 por ciento, 25 por ciento y 25 por ciento en átomos. Este revestimiento tiene un bajo coeficiente de fricción (inferior a 0,3) y propiedades mecánicas próximas a las del acero para construcción.

Como material de blanco se utilizó una placa de cobre de 300 x 70 x 10 mm con una superficie de la zona de erosión de 108 cm^2 . En esta superficie se colocaron, en orificios pasantes practicados en el blanco, 28 insertos cilíndricos de 16 mm de diámetro, en concreto 14 insertos de circonio y 14 insertos de grafito, con una separación de 20 mm entre los insertos vecinos de circonio y grafito, y con una separación de 40 mm entre insertos del mismo tipo. Sobre el blanco con los insertos se depositó en su cara posterior, bajo vacío, una capa para soldar, que se componía de una capa de adherencia de titanio y una capa principal de cobre. La capa de titanio se utilizó para mejorar la adherencia entre la capa de cobre y los insertos de carbono. Esta capa tenía de 2 a 5 μm de espesor. El espesor de la capa de cobre para soldar era de 10 a 15 μm . Una vez aplicadas las capas se estañó esta superficie con soldadura blanca, y se soldó el blanco a la capa subyacente de cobre. La capa de base era una chapa de cobre con un grosor de 0,2 mm. En la Figura 2 se representa la sección transversal del blanco en esta realización.

Se colocó el blanco en mosaico sobre el soporte, en la carcasa de cátodo refrigerada por agua del magnetrón, por encima del sistema magnético. Después se llevó a cabo la operación final para preparar el blanco mediante pulverización previa en condiciones de funcionamiento. La pulverización del blanco se llevó a cabo en un sistema magnetronico equilibrado 6, con los siguientes parámetros: inducción remanente del campo magnético = 0,035 T; presión de trabajo del argón = 0,5 Pa; densidad de potencia de descarga del magnetrón = 28 W/cm^2 ; tensión de pulverización = 540 V; corriente de descarga = 5,6 A; tiempo de pulverización = 25 minutos. Los coeficientes de pulverización del cobre, circonio, y grafito, con una tensión de descarga de 500 a 600 V son respectivamente: 2,1, 0,85 y 0,24. La comprobación, por medio de una sonda micrométrica, de los blancos producidos demostró que las superficies de trabajo del blanco de cobre y de los insertos de circonio estaban por debajo de la superficie de trabajo de los insertos de grafito en 0,1 y 0,04 mm, respectivamente.

Sobre los sustratos se preparó la capa con un espesor medio de 25 μm . Se analizó la composición de fases de la capa, su microdureza y el coeficiente de fricción con diferentes cargas. La composición de fases de la capa se analizó con un difractómetro de rayos X DPOII-4 por el método del haz de planeo, con un ángulo de 7 grados y enfoque de Bragg-Brentano.

El tratamiento de los valores de la medición se realizó mediante los programas OUTSET, PHAN y PHAN%. Para determinar las fases, se aplicó la ficha ASTM. La composición elemental se analizó con un microscopio de barrido SEM-JETL con un microanalizador y un sistema automático de tratamiento de los valores de la medición LINK SYSTEMS. La microdureza se determinó con el analizador de microdureza FISCHERSCOPE H 100 con una carga de 50 mN. El coeficiente de fricción por deslizamiento se determinó por el método del ensayo de "punta sobre disco" sobre las muestras revestidas, que tenían forma de discos de 30 mm de diámetro. Como cuerpo de ensayo de desgaste se utilizó una esfera de 0,5 mm de acero WUX-15, siendo la carga de la esfera 10, 20, 40 y 80 N.

Ejemplo 6

Se depositó un revestimiento de acero inoxidable de tipo 18 -10, con 20 - 25 μm de espesor, sobre un sustrato de acero sin alear C_T-3. Para asegurar la resistencia a la corrosión en la atmósfera de una ciudad industrial, los artículos (barras de 15 mm de diámetro y 300 mm de longitud, de acero C_T-3) fueron revestidos con un acero inoxidable austenítico OX18111OT.

Para el revestimiento se aplicó el dispositivo según la reivindicación 1, que está representado en la Figura 1.

El aparato contenía dos magnetrones no equilibrados 2 con dos blancos monolíticos de titanio BTI-00, de dimensiones 350 x 145 x 10 mm. Se aplicó titanio como capa subyacente bajo la capa principal con vistas a la adherencia de las capas gruesas de acero inoxidable con más de 5 μm de espesor. La distancia entre los cátodos

de los magnetrones era 80 mm. La capa principal de acero inoxidable fue depositada por medio de dos magnetrones equilibrados 6 nK-350 con blancos monolíticos de acero inoxidable, de dimensiones 350 x 145 x 10 mm. La distancia hasta el revestimiento era 30 mm. Para limpiar y activar la superficie de los artículos, en el dispositivo se utilizaron dos fuentes de iones 10 con un cátodo frío y una zona de trabajo de 350 mm, un calentador 14 para calentar los artículos hasta una temperatura de 750°C y dos fuentes por arco eléctrico 23 con un diámetro de la zona de tratamiento de 300 mm. Los cátodos eran cátodos de titanio BTI-00. La distancia entre la superficie de los artículos y las fuentes de iones y por arco eléctrico 10 y 23 era, respectivamente, 100 y 200 mm. El revestimiento se llevó a cabo con el siguiente funcionamiento técnico:

En primer lugar se pusieron en marcha las fuentes de iones 10, y se aplicó al carrusel 13 el potencial de desplazamiento negativo de -900 V. Se ajustaron, además, los siguientes parámetros de funcionamiento: vacío: 0,06 - 0,08 Pa, gas: argón, densidad de la corriente iónica: 15 mA/cm², tiempo: 10 minutos. Después se puso en marcha el calentador 14, cuyo elemento calefactor estaba ejecutado como una cinta de molibdeno de 0,3 mm de grosor. Los artículos fueron calentados hasta 780 ± 20°C en el transcurso de 20 minutos. De manera simultánea a la conexión del calentador 14 se desconectó la fuente de iones 10, se incrementó la presión de argón en la cámara 1 hasta 0,1 - 0,12 Pa, y se volvieron a conectar dos magnetrones no equilibrados 2. En este caso se aplicó el siguiente funcionamiento de los magnetrones: densidad de potencia de descarga: 10 - 15 W/cm², densidad de corriente: 18 - 27 mA/cm², potencial de desplazamiento: 40 V, tiempo de trabajo: 20 minutos.

Después de que hubieran funcionado durante 20 minutos dos magnetrones no equilibrados 2 y se hubo depositado la capa subyacente de titanio con un espesor de 0,3 - 0,5 µm, se pusieron en marcha dos magnetrones equilibrados 6 y se incrementó la presión de argón hasta 0,26 - 0,4 Pa.

Se estableció además el siguiente funcionamiento de los magnetrones: densidad de potencia de descarga: 90 - 100 W/cm²; inducción remanente del campo magnético = 0,1 T; densidad de corriente: 175 - 195 mA/cm²; potencial de desplazamiento: 40 V. Durante el tiempo de trabajo de 120 minutos se depositó una capa de 22 µm de espesor.

Para aumentar la velocidad de calentamiento y reducir los tiempos de proceso para el revestimiento de productos masivos, se pusieron primeramente en marcha, para conseguir un calentamiento y activación intensos en la primera etapa, en lugar de las dos fuentes de iones 10, las fuentes por arco eléctrico 23, y se aplicó al carrusel 13 un potencial de desplazamiento de 900 V. Además, se estableció el siguiente modo de las fuentes por arco eléctrico 23: vacío: 0,06 - 0,08 Pa; gas - argón; corriente de descarga del arco eléctrico: 75 A; tiempo de funcionamiento de las fuentes por arco eléctrico: 5 minutos. Después se puso en marcha el calentador 14 y se depositó la capa principal tal como se ha descrito más arriba.

La calidad de la capa depositada, su espesor, adherencia, estructura y resistencia a la corrosión fueron comprobados mediante métodos estándar. El espesor de la capa fue analizado mediante pulimento metalográfico de acuerdo con el método de "pulimento con esfera". Para ello se utilizó una probeta, es decir, un disco de 0,30 mm y 3 mm de grueso, del mismo material que el artículo. En la capa se excavó un cráter con la esfera, y se midió el espesor de la capa con un microscopio óptico MMY-3. En la misma probeta se midió también la adherencia por el método de "prueba de rayado" (es decir, rayar la capa con un cuerpo de prueba aplicando cargas crecientes). Como cuerpo de prueba se utilizó una esfera de acero. El intervalo de cargas fue de 40 a 350 N.

La composición de la capa se analizó con un microscopio electrónico de barrido (SEM) PHILIPS XL-30 y un microanalizador de rayos X con detector de dispersión de energía Saphire. Los ensayos de corrosión se realizaron conforme a la norma GOST 9.031-74 para verificar la resistencia a la corrosión de capas galvánicas con un espesor superior a 6 µm. Medio de ensayo: para 1 litro de agua: NaCl (50 g) + CuCl₂ • 2H₂O (0,3 g) + CH₂COOH (5-6 gotas); temperatura de la disolución: 40 ± 5°C, tiempo de ensayo: 48 horas.

Resultados del ensayo: se obtienen los siguientes parámetros de capa: espesor de la capa subyacente 0,5 µm, espesor de la capa principal 21 µm, la composición de la capa era: cromo, níquel, titanio correspondientes a la estructura OX18H10T en la fase γ. La capa se destruye con una carga de 180 N sin exfoliación. El tipo de fractura es plástica. La resistencia a la corrosión es satisfactoria y comparable con el cromo galvanizado. La proporción de defectos es inferior al 0,1% de la superficie.

Los resultados expuestos en los ejemplos de realización del proceso indican que las capas multicomponente de mayor espesor producidas presentan buenas características en cuanto a composición química, estructura y parámetros físico-técnicos. Los productos con tales capas de cobertura pueden encontrar una amplia aplicación en diversos campos industriales, profesionales y técnicos, por ejemplo en la construcción de maquinaria.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo para la deposición mediante plasma iónico de revestimientos de película multicomponente con una cámara conectada a tierra (1), un dispositivo anódico situado en la cámara (1), con medios para generar un campo eléctrico y un campo magnético y con un mecanismo de carrusel planetario (13) situado en el centro de la cámara (1) para soportar los artículos a revestir,
- 5 en donde
- el medio para generar el campo magnético contiene dos magnetrones no equilibrados (2) situados uno frente a otro, cada magnetron no equilibrado (2) tiene polo magnético externo (4) y polo magnético interno (3) dirigidos en sentido contrario, teniendo polaridad opuesta el polo magnético externo (4) de un magnetron (2) y el polo externo del otro magnetron,
- 10 están previstos al menos dos magnetrones de alta velocidad equilibrados refrigerados (6), teniendo cada magnetron de alta velocidad equilibrado (6) polo magnético anular externo (8) y polo magnético anular interno (7) dirigidos en sentido contrario, y teniendo polaridad opuesta el polo magnético anular externo (8) de un magnetron de alta velocidad (6) y el polo magnético externo (8) del otro magnetron de alta velocidad (6),
- 15 en los intersticios entre dos pares de magnetrones no equilibrados (2) y magnetrones de alta velocidad equilibrados (6) con polos magnéticos anulares externos (4, 8) con la misma polaridad, están situadas dos fuentes de iones (10) con cátodo frío instaladas una frente a otra, que están ejecutadas como polo magnético anular interno (11) y polo magnético anular externo (12) dirigidos en sentido contrario, teniendo polaridad opuesta el polo magnético anular externo (12) de cada fuente de iones (10) y los polos externos de los magnetrones no equilibrados (2) y
- 20 magnetrones de alta velocidad equilibrados (6) más próximos, y
- en otros dos intersticios entre dos pares de los magnetrones de alta velocidad no equilibrados (6) y los magnetrones equilibrados (2), que se encuentran entre sus polos magnéticos anulares externos (4, 7) de polaridad opuesta, están situadas dos fuentes de iones metálicos por arco eléctrico (23) instaladas una frente a otra, con bobinas estabilizadoras.
- 25 2. Dispositivo según la reivindicación 1,
- caracterizado**
- porque** en el centro de la cámara (1) está situado un calentador (14) para calentar los artículos.
3. Dispositivo según la reivindicación 1 ó 2,
- caracterizado**
- 30 **porque** los magnetrones equilibrados (2) están dispuestos en la cavidad refrigerada de una carcasa (15) de magnetron de 50 a 85 mm de ancho y en la cavidad está formado un canal en forma de una ranura (22) entre el blanco y la cara frontal de una pieza separadora (16) entre los polos del magnetron,
- porque** la altura de la ranura (22) mide entre 4 y 6 mm y
- porque** la anchura de la ranura (22) corresponde a la anchura de la pieza separadora (16) y mide entre 10 y 20 mm.
- 35 4. Procedimiento para la deposición mediante plasma iónico de revestimientos de película multicomponente utilizando un dispositivo según la reivindicación 1, en donde
- para el revestimiento se llevan a cabo las siguientes operaciones:
- preparación de los magnetrones no equilibrados (2) con blancos homogéneos,
 - preparación de los magnetrones de alta velocidad equilibrados (6) con blancos en mosaico,
 - 40 - colocación de los artículos en el mecanismo de carrusel planetario (13),
 - preparación del dispositivo para el trabajo,
 - erosión iónica y activación de los artículos por medio de los magnetrones no equilibrados (2) con una densidad de potencia de descarga de 5 a 40 W/cm²,
 - 45 - activación suplementaria de los artículos por medio de la fuente de iones (10) que genera iones de gas (por ejemplo iones de argón) con una tensión de aceleración de hasta 5000 V o bien activación y saturación de la capa superficial con metal o gas por medio de las fuentes por arco eléctrico (23) que producen iones metálicos o de gas (por ejemplo iones de nitrógeno) con una tensión de desplazamiento en el artículo de 1700 V,

- calentamiento de los artículos por medio del calentador (14) hasta una temperatura de 250 a 1200°C,
- deposición de la capa primaria por medio de los magnetrones no equilibrados (2) con una densidad de potencia de descarga de 5 a 40 W/cm²,
- 5 - deposición de las capas secundarias hasta un espesor de 10 µm mediante el empleo simultáneo de los magnetrones no equilibrados (2) con una densidad de potencia de descarga de 5 a 40 W/cm² y de los magnetrones de alta velocidad equilibrados (6) con una densidad de potencia de descarga de 40 a 500 W/cm² y una inducción remanente del campo magnético de 0,03 T hasta 0,1 T,
- 10 - deposición de la capa principal mediante el empleo simultáneo de los magnetrones no equilibrados (2) y de los magnetrones de alta velocidad equilibrados (6) con una densidad de potencia de descarga de 40 a 500 W/cm² y una inducción remanente del campo magnético de 0,03 T hasta 0,1 T, y
- 15 - deposición de la capa principal con estructura nanocristalina multicapa mediante el empleo simultáneo de los magnetrones no equilibrados (2) con una densidad de potencia de descarga de 5 a 40 W/cm² y los magnetrones de alta velocidad equilibrados (6) con una densidad de potencia de descarga de 40 a 500 W/cm² y una inducción remanente del campo magnético de 0,03 T hasta 0,1 T, así como las fuentes por arco eléctrico (23) con una corriente de arco de 40 a 160 A y una tensión de 40 a 80 V.

5. Procedimiento según la reivindicación 4,

caracterizado

porque en el proceso de revestimiento se calientan los artículos a temperaturas de 250 a 1200°C, y

- 20 **porque** después se calienta suplementariamente la superficie de los artículos a temperaturas de 1500°C mediante bombardeo con iones metálicos y/o de gas, en donde los iones de gas son generados por medio de las fuentes por arco eléctrico (23) con una tensión de desplazamiento de 1700 V en el artículo.

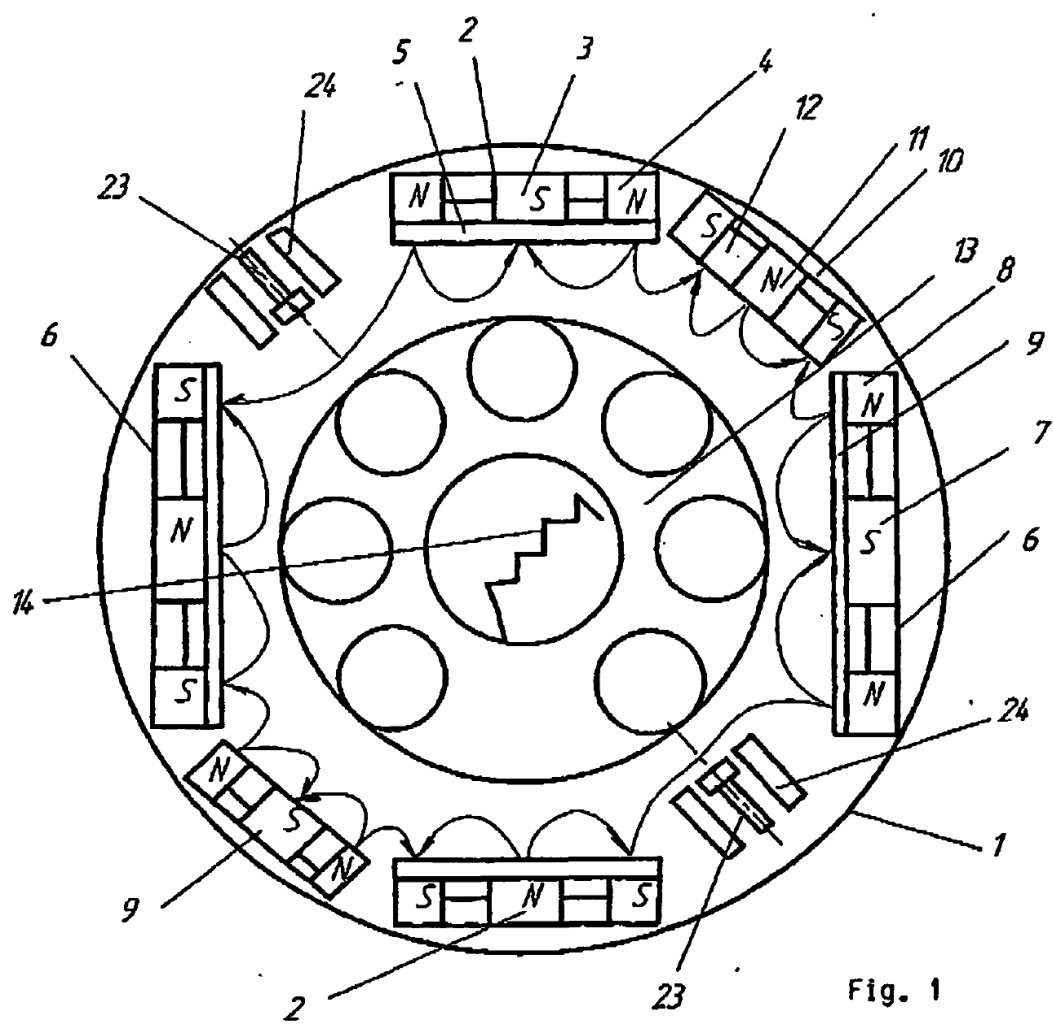


Fig. 1

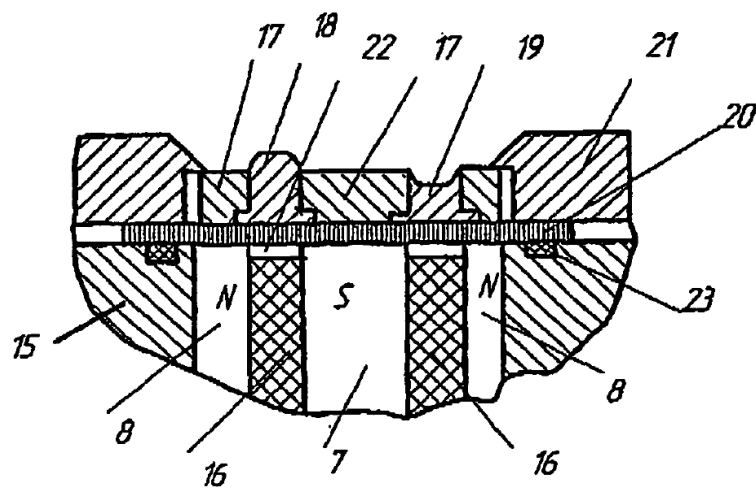


Fig. 2