

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 906 875**

51 Int. Cl.:

H01J 37/32 (2006.01)

C23C 14/32 (2006.01)

H01J 37/34 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.02.2018 PCT/EP2018/053724**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.08.2018 WO18149894**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.02.2018 E 18708602 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.10.2021 EP 3583619**

54 Título: **Evaporación de cátodo de arco voltaico con remoción de material de cátodo predeterminada**

30 Prioridad:

14.02.2017 US 201762458631 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

20.04.2022

73 Titular/es:

**OERLIKON SURFACE SOLUTIONS AG,
PFÄFFIKON (100.0%)
Churerstrasse 120
8808 Pfäffikon SZ, CH**

72 Inventor/es:

**VETTER, JOERG y
WILLACH, MARKUS**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 906 875 T3

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).

DESCRIPCIÓN

Evaporación de cátodo de arco voltaico con remoción de material de cátodo predeterminada

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para la evaporación de un cátodo mediante evaporación por arco voltaico catódica, en el caso del cual la mancha catódica del arco voltaico se fuerza hasta una trayectoria predeterminada en la superficie catódica mediante campos magnéticos controlables temporalmente y localmente, en donde se produce una remoción de material predeterminada de la superficie catódica.

10 Estado de la técnica

En el caso de la evaporación por arco voltaico (en adelante también denominada evaporación por chispas, en donde evaporación por arco voltaico = evaporación por chispas, en el marco de la presente invención) de materiales, los cuales se usan como cátodo, la mancha catódica (también denominada foco o mancha del cátodo) se mueve la mayoría de las veces erráticamente, cuando no se utiliza ningún campo magnético. En particular en el caso de materiales de grafito la mancha catódica se mueve de forma extremadamente arbitraria y lenta en comparación con materiales metálicos. En tales casos pasa a menudo que el foco se detiene en un lugar de la superficie del material de grafito a evaporar tanto tiempo que surge un agujero profundo en el material de grafito y en este caso el arco voltaico se extingue.

20 Kandah et al describen por ejemplo en su artículo "Vacuum arc cathode spot movement on various kinds of graphite cathodes" [Movimiento de mancha catódica en arco de vacío en varios tipos de cátodos de grafito] en Plasma Sources Sci. Technol. 5 (1996) 349-355, cómo una mancha del cátodo se mueve más lento en un cátodo de grafito en comparación con un cátodo de material metálico, de forma que ella incluso se ancla y en este caso se puede adherir en el material de grafito. En el mismo artículo Kandah et al informan que a través del uso de campos magnéticos fuertes, los cuales se mantienen constantes temporalmente y localmente, se puede conseguir una reducción de macropartículas en capas, las cuales se crean mediante evaporación por arco voltaico de cátodos de grafito. Ellos explican que estos campos magnéticos fuertes provocan un aumento de la velocidad de la mancha catódica y por lo tanto una reducción del tiempo de acción del calor de la mancha catódica en el área de mancha del cátodo, lo cual tiene como consecuencia una generación reducida de macropartículas a partir del cátodo de grafito. Para los experimentos realizados Kandah et al han calculado la velocidad de foco media como el recorrido de foco dividido por la duración de arco voltaico. Un campo magnético estacionario externo, paralelo a la superficie catódica, se usó para mover retrógradamente el foco en la superficie catódica de grafito, como ello es típico de los arcos voltaicos en el vacío, los cuales están bajo la influencia de campos magnéticos transversales. Se observó que el foco se comporta de forma muy diferente en diferentes tipos de grafito, tanto en cuanto a la velocidad de foco como también en cuanto al perfil de remoción.

En adelante los campos magnéticos, los cuales se mantienen constantes temporalmente y localmente, también se denominan como "campos magnéticos estacionarios temporalmente y localmente" o simplemente como "campos magnéticos estacionarios".

Un ajuste de un perfil de remoción óptimo usando un campo magnético estacionario tal se plantea sin embargo en los cátodos de superficie más grande como casi imposible. En este contexto están concernidas por ejemplo superficies catódicas activas ya circulares, las cuales tienen un diámetro de algunos centímetros, es decir 2 cm o más.

También otros autores han informado en los últimos tiempos sobre métodos para el control del movimiento de la mancha del cátodo en cátodos de grafito usando campos magnéticos.

50 Liuhe Li et al informan por ejemplo en su artículo "Control of cathodic arc spot motion under external magnetic field" [Control del movimiento de foco de arco catódico bajo campo magnético externo] en Vacuum 91 (2013) 20-23 sobre la influencia de campos magnéticos estacionarios temporalmente y localmente de distinta intensidad, corriente de arco voltaico, presión de gas y morfología de superficie sobre el movimiento y la dinámica de la mancha del cátodo en cátodos de grafito rectangulares. El campo magnético aplicado se genera a través de una combinación de imanes permanentes y bobinas electromagnéticas. Este campo magnético estacionario temporalmente y localmente actúa sin embargo tan extensamente sobre una pista de recorrido que él conduce a una remoción de material irregular del cátodo de grafito.

60 En este contexto también Aksenov et al informan en su artículo "Magnetic Field influence on the shape of eroding surface of graphite cathodes" [Influencia del campo magnético en la forma de la superficie erosiva de cátodos de grafito], en Problems of Atomic Science and Technology. 2002. Serie n.º 5: Plasma Physics (8). P. 142-144, sobre la influencia de campos magnéticos estacionarios temporalmente y localmente sobre la forma de la superficie erosionada de un cátodo de grafito durante la evaporación por chispas. En este contexto se realizaron en particular experimentos para examinar el efecto de la presión de gas y de la corriente de arco voltaico. Aksenov et al mencionan además que la velocidad del movimiento de una mancha catódica sobre grafito presenta una magnitud aproximadamente de 2 a 3 veces más pequeña que sobre metal. En el área marginal de los cátodos se pudo determinar a pesar de la optimización de los campos magnéticos una remoción indefinida (también llamada erosión) del material catódico.

El uso de varios campos magnéticos estacionarios para forzar al movimiento un arco voltaico en un cátodo metálico también es conocido del estado de la técnica. En este contexto por ejemplo Vetter describe en el documento DE4008850A1 que a través de la conmutación específica de los campos magnéticos marginales se puede evitar una bajada del arco voltaico de la superficie catódica a evaporar. Del documento EP1382711 A1, la publicación internacional WO 89/01699 A1 y el documento EP0508612 A2 son conocidos dispositivos y procedimientos para mover el foco por diferentes trayectorias y/o con velocidad variable en la superficie catódica mediante campos magnéticos modificables.

Los inventores han determinado sin embargo que estas soluciones hasta la fecha, las cuales incluyen el control de capos magnéticos externos, hasta ahora solo posibilitan un ajuste específico de forma limitada de los perfiles de remoción (también denominados perfiles de erosión).

Tarea de la presente invención

La presente invención se basa en la tarea de proporcionar un procedimiento para la evaporación de un cátodo mediante evaporación de arco voltaico catódica, en el caso del cual se produce una remoción de material predeterminada de la superficie catódica, en particular en el caso de materiales del cátodo de grafito a evaporar.

Solución de la tarea según la presente invención - Descripción de la presente invención

Los inventores han destacado que sorprendentemente las desventajas mencionadas arriba de las soluciones hasta la fecha según el estado de la técnica en el caso de la evaporación por arco voltaico, en particular de materiales de grafito, se pueden solventar de forma ideal con campos magnéticos controlables temporalmente y localmente, en donde la erosión (en adelante también denominada remoción, en donde erosión = remoción, en el marco de la presente invención) del material del cátodo se ajusta de manera específica con ayuda de los campos magnéticos controlables temporalmente y localmente.

Descripción más detallada de la presente invención

En el marco de la presente invención con la expresión "campo magnético controlable temporalmente y localmente" se denomina un campo magnético tal, el cual presenta líneas de campo magnético, cuyas propiedades se pueden modificar de manera específica por lo menos durante una parte de la duración de aplicación del campo magnético en uno o varios lugares.

Igualmente en el marco de la presente invención con la expresión "campo magnético estacionario" se denomina un campo magnético tal, en particular externo, el cual presenta líneas de campo magnético, cuyas propiedades no son controlables temporalmente y localmente durante la duración de aplicación del campo magnético, es decir no es posible modificar durante la evaporación por arco voltaico la trayectoria de la mancha catódica de tal manera que el lugar del cátodo, en el cual aparece erosión, se puede modificar temporalmente modificando las propiedades de las líneas de campo magnético.

A continuación la invención se explica en más detalle mediante algunas figuras y ejemplos de realización:

Figuras:

- Figura 1: representación de dos campos magnéticos con forma de túnel ajustados de manera inventiva (denominados en la fig. 1 como M1 y M2) y los trayectos de erosión resultantes a causa de esto (denominados en la fig. 1 como W1 y W2) en un cátodo 30, en donde los trayectos de erosión están mostrados respectivamente con forma circular con diámetros correspondientes (denominados en la fig. 1 como D1 y D2).

- Figura 2: dispositivo para la realización de un procedimiento inventivo.

- Figura 3: representación de los trayectos de erosión y áreas erosionadas, las cuales resultan a través del uso de un procedimiento inventivo según el ejemplo 2 de abajo.

Si por ejemplo se opera un objetivo de grafito (en adelante también denominado simplemente objetivo), con una cualidad de grafito dada, como cátodo en una cámara de recubrimiento al vacío para evaporar el objetivo de grafito mediante evaporación por chispas, y en este caso desprender una capa de carbono en una superficie de un sustrato puesto en la cámara de recubrimiento al vacío, de conformidad con la invención se pueden ajustar campos magnéticos de guía con forma de túnel controlables temporalmente y localmente para por ejemplo suponiendo una tasa de remoción R constante para la calidad de grafito dada suministrar temporalmente de forma integral la misma cantidad de culombios en diferentes lugares del objetivo (en adelante también denominado simplemente como cátodo).

En este contexto para denominar la tasa de remoción del material de grafito en microgramo/culombio ($\mu\text{g}/\text{C}$) se usa el signo "R_{Graph}".

ES 2 906 875 T3

La invención se explica ahora mediante la figura 1, en la cual están representados dos campos magnéticos de guía (M1 y M2) ajustados de conformidad con la invención.

5 Según la presente invención se ajusta un primer campo magnético de guía M1 apropiado para erosionar una primera área de la superficie catódica. En este caso surge un primer trayecto de erosión W1. El primer trayecto de erosión W1 corresponde entonces a la trayectoria de la mancha catódica, cuando el primer campo magnético de guía M1 se genera y permanece ajustado.

10 El primer trayecto de erosión W1 y la primera velocidad integral v_1 del foco, los cuales resultan en el caso de este primer campo magnético de guía M1, se miden con métodos apropiados, p. ej. a través de observación visual.

15 Igualmente se ajusta al menos un segundo campo magnético de guía M2, el cual conduce a la erosión de una segunda área de la superficie catódica. En este caso surge un segundo trayecto de erosión W2, el cual corresponde a la trayectoria de la mancha catódica, cuando el segundo campo magnético de guía M2 se genera y permanece ajustado. La segunda velocidad integral v_2 y el segundo trayecto de erosión, los cuales resultan en el caso de este segundo campo magnético de guía M2, se miden igualmente.

20 Si el primer trayecto de erosión W1 tiene una primera longitud L_1 y el segundo trayecto de erosión W2 tiene una segunda longitud L_2 , y $L_2 > L_1$, entonces, suponiendo la misma velocidad de foco integral para ambos trayectos de erosión ($v_1 = v_2$), el tiempo t_2 para una vuelta del segundo trayecto de erosión W2 debe ser mayor en comparación con el tiempo t_1 para una vuelta del primer trayecto de erosión, es decir $t_2 > t_1$.

Por lo tanto se da lo siguiente:

25 $v_1 = L_1/t_1 = v_2 = L_2/t_2$ para el mismo material objetivo suponiendo una calidad dada igual del material objetivo,

es decir $v_{i-1} = L_{i-1}/t_{i-1} = v_i = L_i/t_i$, y en donde $i = 1$ a n , con $n \geq 2$ y en donde i es un número entero e igualmente n es un número entero.

30 La erosión E se define para las áreas respectivas como $E = R*t$, en donde $E_i = R*t_i$ y si $i=n$, entonces $E_n = R*t_n = E_{n-1} = R*t_{n-1} \dots$ suponiendo una tasa de remoción R constante.

Ejemplo inventivo 1

35 La corriente aplicada en el evaporador de arco voltaico en este ejemplo fue de 100 A, el tiempo de permanencia medido del foco en la primera área fue $t_1 = 40$ s y la tasa de erosión medida fue $R_1 = 18 \mu\text{g}/\text{C}$, en donde $R_1 = R$, cuando se supone una tasa de remoción constante.

40 Subsiguientemente la erosión E_1 en la primera área se puede calcular como sigue:

$$E_1 = R*t_1 = R_1*t_1 = 18 \mu\text{g}/\text{As} * 100 \text{ A} * 40 \text{ s} = 72000 \mu\text{g}$$

45 Los medios magnéticos para la generación de los campos magnéticos de guía en el ejemplo indicado se ajustaron de tal manera que surgieron trayectos de erosión circulares o casi circulares. El diámetro D_1 del primer trayecto de erosión fue de aprox. 8 cm. Debido a la forma circular de la trayectoria del foco la longitud L_1 de la primera trayectoria de la mancha catódica se calculó como sigue:

$$L_1 = \pi * D_1 \approx 25 \text{ cm}$$

50 De ello se da por un lado una velocidad de foco integral $v_1 = L_1/t_1$ de aprox. 38 cm/min así como una erosión específica relacionada con el trayecto de erosión $\text{Esp}_1 = E_1/L_1$ (erosión dividida por trayecto de erosión) de 2880 $\mu\text{g}/\text{cm}$.

55 Si la velocidad de foco integral se supone como constante en primera aproximación, entonces es válido que en el caso de un campo de guía M1, el cual genera un trayecto de erosión circular con un diámetro D_1 más pequeño, el tiempo de recorrido debe ser más corto, cuando se debe ajustar la misma erosión específica. Por ejemplo en el caso de un otro trayecto de erosión con una mitad de diámetro en comparación con el ejemplo mencionado arriba, entonces se tendría un diámetro $D_1 = 4$ cm (en vez de $D_1 = 8$ cm, como está indicado arriba) y a causa de esto se daría un tiempo de recorrido (tiempo para la vuelta de la trayectoria una vez) de t_1 aprox. 19 s.

60 En una otra forma de realización de la invención un procedimiento se puede realizar de tal manera que se generan varios campos magnéticos M_i con $i=1$ a n , en donde el tiempo de recorrido t_i exacto respectivo para cada campo magnético de guía M_i ajustado se calcula y ajusta como está descrito arriba.

Esta visión lineal posibilitó el ajuste de varios trayectos de erosión W_i y de esta manera se pudieron conseguir sorprendentemente muy buenos resultados de erosión. Con otras palabras, se consiguió una erosión asombrosamente homogénea de la superficie catódica. Este procedimiento inventivo ha posibilitado además sorprendentemente reducir considerablemente el número de góticulas en las capas de carbono creadas en este caso.

5 Para la realización de un procedimiento inventivo (como por ejemplo el procedimiento inventivo descrito arriba) se debe usar también sin embargo un dispositivo apropiado.

10 Un dispositivo apropiado tal se muestra en la figura 2. El dispositivo incluye un evaporador de arco voltaico (30, 10, 18, 20) con medios magnéticos internos 10, los cuales se encuentran en el interior de la cámara de recubrimiento al vacío 1 y se usan para la generación de un campo magnético interno, en donde los medios magnéticos internos 10 rodean el cátodo 30. Para la generación de un campo magnético externo detrás del cátodo 30 se encuentra, por fuera de la cámara de recubrimiento al vacío 1, un medio magnético externo 20. El medio magnético externo consta en este ejemplo de una bobina 22 y un núcleo 24. El núcleo 24 puede estar hecho a partir de un material ferrítico o a partir de un material magnético permanente apropiado. Los lugares de erosión en las distintas áreas de la superficie catódica se pueden entonces ajustar con este dispositivo, teniendo en cuenta la velocidad de recorrido integral del foco, en segundos a minutos.

15 Vetter describe en el documento EP2140476B1 un evaporador de arco voltaico, el cual presenta imanes anulares internos e imanes anulares externos, los cuales posibilitan el ajuste de un campo magnético permanente externo ajustable en dirección axial, en donde los imanes anulares internos están dispuestos alrededor del cátodo. Este campo magnético permanente es sin embargo un campo magnético estacionario, el cual no es modificable temporalmente y localmente durante el desprendimiento de una capa mediante evaporación por arco voltaico del cátodo y por lo tanto conduciría a un control inapropiado de la evaporación catódica de ciertos materiales catódicos. Un campo magnético estacionario tal es en particular inapropiado para la evaporación de grafito, cuando se debe conseguir una erosión uniforme de la superficie catódica, e igualmente cuando se debe evitar una adhesión de la mancha del cátodo en un lugar de la superficie catódica.

20 Según una forma de realización de la presente invención el evaporador mencionado arriba se modifica y se configura de conformidad con la invención de tal manera que en vez de los imanes anulares externos se usa por lo menos una bobina 22 apropiada, preferiblemente con núcleo de hierro 24, para controlar de manera sencilla un ajuste temporal y local de la superficie de erosión. De esta manera el ajuste de las superficies de erosión se puede controlar al ajustarse por ejemplo para el ajuste de una primera superficie de erosión en un área seleccionada de la superficie catódica un primer suministro de corriente (en amperios) temporalmente constante definido de la bobina 22, y al ajustarse para el ajuste de una otra superficie de erosión en una otra área de la superficie catódica un otro suministro de corriente temporalmente constante definido de la bobina 22. A través del ajuste de la duración de un suministro de corriente constante definido de la bobina 22 se puede definir la duración del tiempo de permanencia (en segundos a minutos) de la mancha del cátodo en la superficie de erosión respectiva. Por lo tanto entonces la erosión se puede controlar en cada área seleccionada respectivamente de la superficie catódica.

30 Según una forma de realización preferida de la presente invención para el ajuste de la erosión local en las áreas respectivas de la superficie catódica se usa el procedimiento descrito arriba, en donde el procedimiento incluye los siguientes pasos:
 35 generación de un campo magnético interno, el cual preferiblemente, pero no exclusivamente, se genera con imanes permanentes y se dispone con forma circular alrededor del cátodo, en donde la posición relativa se puede encontrar en el plano de cátodo 32, pero también en una cierta distancia A_{k+} delante del plano de cátodo, o en una cierta distancia A_{k-} por debajo del plano de cátodo (véase por ejemplo la representación de la distancia A_{k+} y A_{k-} en la figura 2). Por ejemplo hasta 10 mm por arriba o hasta una distancia no mayor del 70 % de la longitud de imán por debajo del cátodo. Preferiblemente este campo magnético interno genera en gran medida líneas de campo magnético verticales en la superficie catódica, cuyo espesor aumenta hacia el borde de cátodo.

40 Este campo magnético interno se genera preferiblemente de tal manera que él concentra el comportamiento de recorrido fundamentalmente en el centro del cátodo.

55 Entre el cátodo 30 y los medios magnéticos externos 20 hay una placa de alojamiento de cátodo 18, la cual presenta por ejemplo una función de refrigeración e incluye un suministro de corriente.

60 El campo magnético interno y la polarización magnética de la bobina se ajustan preferiblemente de tal manera que en la superficie catódica surge un campo magnético de guía, el cual es preferiblemente un campo magnético de guía con forma de túnel, el cual es controlable temporalmente y localmente. Para cátodos circulares en este caso se modifica el radio de recorrido del arco voltaico (también denominado radio de recorrido de la chispa o del foco). En el caso de un campo magnético interno, el cual rodea el cátodo y está hecho de imanes permanentes, los polos apuntados en la dirección del cátodo y la polarización de la bobina se diseñan de forma antipolar. Si el campo del sistema magnético interno está en la dirección del cátodo del polo norte, entonces la bobina se polariza de tal manera que su polo sur apunta en la dirección del cátodo, o justamente a la inversa. De esta manera puede surgir un campo magnético de guía con forma de túnel.

Para la realización del ejemplo 1 descrito arriba se usó un cátodo de grafito con forma de disco con superficie a evaporar con forma circular, la cual presentaba un diámetro de 100 mm y un espesor de 15 mm.

5 La presente invención también se puede usar sin embargo teniendo en cuenta las circunstancias geométricas específicas para otras formas de superficies catódicas a evaporar. Por ejemplo se pueden usar formas elípticas, rectangulares, y otras formas de superficies catódicas a evaporar. En su caso están indicadas sin embargo limitaciones del uso del cátodo.

10 Preferiblemente se usan cátodos a evaporar con superficies a evaporar con forma circular.

Según una otra forma de realización preferida de la presente invención el dispositivo modificado descrito arriba se puede usar para realizar un procedimiento inventivo, en donde el campo magnético de guía es modificado por la bobina externa para crear un campo magnético de guía M con forma de túnel. La modificación temporal del campo magnético a través del ajuste de la bobina se hace en este contexto, como ya está mencionado arriba, preferiblemente a través de una modificación de la intensidad de corriente (suministro de corriente) de la bobina. La intensidad de corriente a seleccionar depende por ejemplo del número de los bobinados y del tipo del núcleo 24.

15 El campo magnético de guía con forma de túnel mencionado arriba se puede ajustar entonces a través de la operación de la bobina con distintas corrientes de tal manera que se generan distintos campos magnéticos de guía o un número n de campos magnéticos de guía M_i con $i = 1$ a n (i es un número entero y n también es un número entero y $n \geq 2$), en donde cada campo magnético de guía M_i conduce la mancha catódica del arco voltaico por una trayectoria respectiva para la formación de un trayecto de erosión W_i correspondiente.

20 Estas trayectorias del foco o trayectos de erosión se pueden generar por ejemplo concéntricamente y con forma circular en relación con la superficie catódica.

Si el trayecto de erosión W_i respectivo tiene forma circular y está centrado en el centro de la superficie catódica, entonces los trayectos de erosión deben presentar respectivamente un diámetro D_i diferente, por ejemplo si $n = 4$, entonces $D_1 > D_2 > D_3 > D_4$.

Un campo magnético de guía con forma de túnel está mostrado a modo de ejemplo en las figuras 1 y 2.

Ejemplo 2:

35 Los siguientes parámetros se usaron para la realización del ejemplo 2, véase también la figura 3.

- Corriente de arco 70 A

- Cátodo de grafito con 100 mm de diámetro

40 - La corriente de bobina máxima se seleccionó de tal manera que se evita un recorrido del arco voltaico por el borde del cátodo.

- Para el ajuste de un primer campo magnético de guía M1 se ajustó una corriente de bobina de 4 A y se midió un diámetro $D_1 = 8$ cm, y se midió la duración de tiempo correspondiente y de $t_1 = 38$ s, véase el ejemplo 1.

45 - Para el ajuste de un segundo campo magnético de guía M2 se ajustó una corriente de bobina de 3 A y se midió un diámetro $D_2 = 7$ cm, y se calculó la duración de tiempo correspondiente de conformidad con la invención de $t_2 = 33$ s.

- Para el ajuste de un tercer campo magnético de guía M3 se ajustó una corriente de bobina de 2 A y se midió un diámetro $D_3 = 6$ cm, y se calculó la duración de tiempo correspondiente de conformidad con la invención de $t_3 = 29$ s.

50 - Para el ajuste de un cuarto campo magnético de guía M4 se ajustó una corriente de bobina de 1 A y se midió un diámetro $D_4 = 4$ cm, y se calculó la duración de tiempo correspondiente de conformidad con la invención de $t_4 = 19$ s.

El circuito de la corriente de bobina para la generación de los campos magnéticos de guía M1 a M4 se puede realizar por ejemplo de manera integral en el tiempo con la misma frecuencia (p. ej. secuencialmente uno tras el otro, es decir primero M1 durante un primer tiempo t_1 , después M2 durante un segundo tiempo t_2 , después M3 durante un tercer tiempo t_3 , después M4 durante un tiempo t_4 , después de nuevo M1 durante un tiempo 1 y así sucesivamente).

55 Se comprobó qué pasa con el movimiento de la mancha catódica del arco voltaico cuando se usa una corriente de bobina de 0 A, es decir no se genera ningún campo magnético de guía con forma de túnel. Se observó que el arco voltaico solo podía circular estocásticamente en el centro del cátodo y existe el peligro de la adherencia local. Se determinó que a corto plazo, por lo general en el rango de unos 10 s, este campo magnético no con forma de túnel por dentro de un circuito secuencial de los campos magnéticos de guía M1 a M4 puede ser ventajoso, p. ej. en el proceso de ignición del arco voltaico.

60 El circuito también puede ser realizado de tal manera que se controlan múltiplos del tiempo t_i con $t_i = 1$ a n, por ejemplo factor 2, en donde esto debe tener lugar en la integral temporal. El procedimiento se puede realizar entonces por ejemplo como sigue:

65

M1 durante t1, seguido por M2 durante t2, seguido por M3 durante t3, seguido por M4 durante 2xt4, seguido por M3 durante t3, seguido por M1 durante t1, seguido por M2 durante t2 y así sucesivamente. A causa de esto todos los recorridos de erosión son recorridos en el medio temporal con la misma frecuencia.

5 Sin embargo estos ejemplos no deben considerarse en ningún caso como limitaciones del procedimiento inventivo. El circuito secuencial de los campos magnéticos de guía puede ser ajustado por el experto según sea necesario, teniendo en cuenta los perfiles de erosión deseados en la superficie catódica.

10 Los inventores han determinado que es ventajoso si la distancia A entre dos trayectorias colindantes es de al menos 1 mm, preferiblemente sin embargo si es de 3 a 10 mm.

15 Además de la solución inventiva descrita arriba para el ajuste de perfiles de erosión temporalmente y localmente en el área definida, en donde el tiempo respectivo en segundos a minutos se da a partir de las velocidades integrales medidas de la chispa así como del tramo a erosionar, también se pueden emplear otras soluciones para la creación del campo magnético de guía con forma de túnel apropiado.

20 Sin embargo es fundamental para la invención que surja un campo magnético de guía con forma de túnel, en donde para su generación los medios magnéticos apropiados conocidos para el experto también se pueden usar con polarización apropiada conocida también para el experto.

Por ejemplo se pueden usar una bobina interna y una externa o varios imanes permanentes o una combinación de bobinas e imanes permanentes.

25 La figura 2 muestra como ejemplo una disposición con medios magnéticos internos (por dentro de la cámara de vacío, donde se encuentra la superficie catódica a evaporar) y medios magnéticos externos (detrás del cátodo) para la generación de un campo magnético interno y un campo magnético externo, en donde a través de la interacción de estos campos magnéticos surge un campo magnético de guía con forma de túnel, el cual es modificable temporalmente y localmente.

30 En el marco de la presente invención se realizaron varios ensayos, en el caso de los cuales para la evaporación por arco voltaico se emplearon cátodos de grafito (también denominados objetivos de grafito) con distintas cualidades de grafito y espesores en el rango de 1,6 a 1,9 g/cm³.

35 La descarga de arco voltaico (también denominada descarga de chispa) se inició mediante un disparador mecánico. Sin embargo también se pueden usar otros tipos de dispositivos de ignición, por ejemplo eléctricos o con láser. Las intensidades de campo magnético se seleccionaron dependiendo del área de recorrido deseada de la descarga de chispa. Típicamente se seleccionaron intensidades de campo magnético de tal manera que las intensidades de campo magnético verticales del campo magnético con forma de túnel controlable estuvieron en el rango de 0,5 a 30 mT. Los procesos se realizaron tanto en vacío como también usando el gas de proceso Ar así como suministrando gases reactivos, O₂, N₂, C₂H₂ y/o H₂ estable. Típicamente las presiones parciales ajustadas de los gases reactivos fueron de 0,1 a 1 Pa. Las presiones de proceso máximas en el caso de Ar fueron de 5 Pa. En todas las condiciones de proceso se pudo conseguir un control excelente de la erosión.

45 En el caso de la evaporación por arco voltaico de cátodos de grafito mediante esta evaporación de grafito controlada según la presente invención se desprendieron tanto capas de grafito como también capas amorfas duras (capas DLC) de los tipos a-C, ta-C, a-C:H y a-C:N, en donde las capas más duras (ta-C) en el caso de condiciones de proceso adecuadas del desprendimiento de capa presentan durezas de hasta 80 Gpa.

50 Además de para la evaporación por arco voltaico de cátodos de grafito puros este procedimiento de conformidad con la invención también es aplicable para la evaporación por arco voltaico de cátodos de grafito aleados. Por ejemplo de cátodos de grafito aleados, los cuales presentan al menos un elemento de aleación, en donde preferiblemente el al menos un elemento de aleación es uno de los siguientes elementos: Si, B, F, Ti, Cr, Mo, W, Al y Cu. El procedimiento de conformidad con la invención también se puede usar sin embargo para la evaporación por chispas de cátodos de otros materiales, como por ejemplo cobre.

55 Si se usan cátodos de grafito aleados, el cátodo de grafito debe preferiblemente incluir el elemento de aleación o la suma de los elementos de aleación de tal manera que la concentración de los elementos de aleación en porcentaje atómico se sitúe en un rango de 0,1 a 49 at. %, preferiblemente de 1 a 25 at. %.

60 La presente invención divulga concretamente:
un procedimiento para la evaporación de un cátodo mediante un proceso de evaporación por arco voltaico catódica en una cámara de vacío, en el caso del cual se enciende un arco voltaico y el movimiento de la mancha catódica del arco voltaico se fuerza por una trayectoria predeterminada en la superficie catódica a evaporar mediante un campo magnético de guía, en donde se usan medios magnéticos internos por dentro de la cámara de vacío y medios magnéticos externos por fuera de la cámara de vacío para la generación de al menos respectivamente un campo magnético interno y un campo magnético externo, en donde el campo magnético de guía es un campo magnético de

guía con forma de túnel, el cual surge a través de la interacción de los campos magnéticos caracterizado por que el campo magnético de guía con forma de túnel es modificable y durante la realización del proceso de evaporación por arco voltaico se generan al menos dos campos magnéticos de guía (M1, M2) diferentes, y en donde el procedimiento incluye los siguientes pasos:

5 - generar el primer campo magnético de guía (M1) con forma de túnel, el cual se usa para guiar la mancha catódica del arco voltaico durante un primer tiempo de recorrido t_1 , por una primera trayectoria en la superficie catódica a evaporar, en donde un primer trayecto de erosión (W1) con longitud (L1) surge en una primera área de la superficie catódica, en donde el primer tiempo de recorrido (t_1) corresponde al tiempo, el cual necesita la mancha catódica para recorrer una vez la longitud (L1) completa del primer trayecto de erosión (W1).

10 - modificar las propiedades del primer campo magnético de guía para el ajuste de un segundo campo magnético de guía (M2) con forma de túnel diferente del primero, el cual se usa para guiar la mancha catódica del arco voltaico durante un segundo tiempo de recorrido (t_2), por una segunda trayectoria en la superficie catódica a evaporar, en donde un segundo trayecto de erosión (W2) con longitud (L2) surge en una segunda área de la superficie catódica, en donde el segundo tiempo de recorrido (t_2) corresponde al tiempo, el cual necesita la mancha catódica para recorrer una vez la longitud (L2) completa del segundo trayecto de erosión (W2).

15 - realizar el proceso de evaporación por arco voltaico, en donde durante toda la duración del proceso de evaporación por arco voltaico, t_{Tot} , el primer campo magnético de guía (M1) se emplea durante un tiempo de encendido t_{ein1} y el segundo campo magnético de guía (M2) durante un tiempo de encendido t_{ein2} , en donde $t_{ein1} \geq t_1$, $t_{ein2} \geq t_2$, y $t_{Tot} \geq t_{ein1} + t_{ein2}$, y en donde t_1 y t_2 duran respectivamente segundos a minutos, y en donde la velocidad de foco integral se asume como constante en primera aproximación.

20 Las propiedades del primer campo magnético de guía con forma de túnel se pueden modificar n-veces según la presente invención para ajustar un número n de campos magnéticos de guía M_i con forma de túnel, en donde n es un número entero, $n \geq 2$, i es un número entero e $i = 1$ a n, en donde para cada campo magnético de guía con forma de túnel resulta una trayectoria diferente para la guía de la mancha catódica del arco voltaico durante un segundo tiempo de recorrido t_i y de esta manera surge un trayecto de erosión W_i diferente con longitud L_i correspondiente, en donde el tiempo de recorrido t_i corresponde al tiempo, el cual necesita la mancha catódica para recorrer respectivamente una vez la longitud L_i completa del trayecto de erosión E_i correspondiente, y en donde respectivamente $t_{ein_i} \leq t_i$, dura t_i segundos a minutos, y en donde la duración completa del proceso de evaporación por arco voltaico $t_{Tot} = \sum t_i$ de $t_i = 1$ a $t_i = n$.
 t_{ein1} , t_{ein2} o en su caso t_{ein_i} puede ser un múltiplo entero de un mismo factor $k \geq 1$, en donde $t_{ein1} = k*t_1$, $t_{ein2} = k*t_2$ o en su caso $t_{ein_i} = k*t_i$.

Preferiblemente las propiedades de los campos magnéticos de guía con forma de túnel se seleccionan de tal manera que por lo menos dos trayectos de erosión tienen forma circular.

40 Preferiblemente los por lo menos dos trayectos de erosión con forma circular deben estar centrados en el centro de la superficie catódica a evaporar.

Preferiblemente la distancia de dos trayectos de erosión con forma circular colindantes debe presentar al menos 1 mm, preferiblemente de 3 a 10 mm.

45 Preferiblemente para la generación del campo magnético interno y/o para la generación del campo magnético externo se usa al menos una bobina y para el ajuste de los diferentes campos magnéticos de guía con forma de túnel se modifica la corriente, la cual fluye a través de la bobina.

50 Según una forma de realización preferida de la presente invención la superficie catódica a evaporar está hecha de un material de grafito o de un material de grafito aleado con otros elementos.

Preferiblemente la bobina mencionada arriba es una bobina (22) externa, la cual presenta un núcleo de hierro (24).

55 Preferiblemente el cátodo tiene forma de placa y presenta una superficie a evaporar circular.

Preferiblemente el campo magnético interno se genera de tal manera que él concentra el comportamiento de recorrido fundamentalmente en el centro del cátodo.

60 Preferiblemente cada campo magnético de guía M1, M2 y en su caso M_i se emplea secuencialmente, respectivamente durante un tiempo de encendido t_{ein1} , t_{ein2} y en su caso t_{ein_i} , de tal manera que se consigue una erosión homogénea de la superficie catódica a evaporar.

65 Según una otra forma de realización preferida de la presente invención t_{ein1} , t_{ein2} y en su caso t_{ein_i} es un múltiplo entero de un factor propio, no necesariamente igual respectivamente k_1 , k_2 , o en su caso k_i , en donde $t_{ein1} = k_1*t_1$, $t_{ein2} = k_2*t_2$ o en su caso $t_{ein_i} = k_i*t_i$.

Preferiblemente todos los trayectos de erosión E_i tienen forma circular.

5 Preferiblemente todos los trayectos de erosión E_i con forma circular están centrados en el centro de la superficie catódica a evaporar.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la evaporación de un cátodo (30) mediante un proceso de evaporación por arco voltaico catódica en una cámara de vacío (1), en el caso del cual se enciende un arco voltaico y el movimiento de la mancha catódica del arco voltaico se fuerza por una trayectoria predeterminada en la superficie catódica a evaporar mediante un campo magnético de guía, en donde se usan medios magnéticos internos (10) por dentro de la cámara de vacío (1) y medios magnéticos externos (20) por fuera de la cámara de vacío (1) para la generación de al menos respectivamente un campo magnético interno y un campo magnético externo, en donde el campo magnético de guía es un campo magnético de guía con forma de túnel, el cual surge a través de la interacción de los campos magnéticos caracterizado por que el campo magnético de guía con forma de túnel es modificable y durante la realización del proceso de evaporación por arco voltaico se generan al menos dos campos magnéticos de guía (M1, M2) diferentes, y en donde el procedimiento incluye los siguientes pasos:
- generar el primer campo magnético de guía (M1) con forma de túnel, el cual se usa para guiar la mancha catódica del arco voltaico durante un primer tiempo de recorrido t_1 , por una primera trayectoria en la superficie catódica a evaporar, en donde un primer trayecto de erosión (W1) con longitud (L1) surge en una primera área de la superficie catódica, en donde el primer tiempo de recorrido (t_1) corresponde al tiempo, el cual necesita la mancha catódica para recorrer una vez la longitud (L1) completa del primer trayecto de erosión (W1).
 - modificar las propiedades del primer campo magnético de guía para el ajuste de un segundo campo magnético de guía (M2) con forma de túnel diferente del primero, el cual se usa para guiar la mancha catódica del arco voltaico durante un segundo tiempo de recorrido (t_2), por una segunda trayectoria en la superficie catódica a evaporar, en donde un segundo trayecto de erosión (W2) con longitud (L2) surge en una segunda área de la superficie catódica, en donde el segundo tiempo de recorrido (t_2) corresponde al tiempo, el cual necesita la mancha catódica para recorrer una vez la longitud (L2) completa del segundo trayecto de erosión (W2).
 - realizar el proceso de evaporación por arco voltaico, en donde durante toda la duración del proceso de evaporación por arco voltaico, t_{Tot} , el primer campo magnético de guía (M1) se emplea durante un tiempo de encendido t_{ein1} y el segundo campo magnético de guía (M2) durante un tiempo de encendido t_{ein2} , en donde $t_{ein1} \geq t_1$, $t_{ein2} \geq t_2$, y $t_{Tot} \geq t_{ein1} + t_{ein2}$, y en donde t_1 y t_2 duran respectivamente segundos a minutos, y en donde la velocidad de foco integral se asume como constante en primera aproximación.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en donde las propiedades del primer campo magnético de guía con forma de túnel se modifican n-veces para ajustar un número n de campos magnéticos de guía M_i con forma de túnel, en donde n es un número entero, $n \geq 2$, i es un número entero e $i = 1$ a n, en donde para cada campo magnético de guía con forma de túnel resulta una trayectoria diferente para la guía de la mancha catódica del arco voltaico durante un segundo tiempo de recorrido t_i y de esta manera surge un trayecto de erosión W_i diferente con longitud L_i correspondiente, en donde el tiempo de recorrido t_i corresponde al tiempo, el cual necesita la mancha catódica para recorrer respectivamente una vez la longitud L_i completa del trayecto de erosión E_i correspondiente, y en donde respectivamente $t_{eini} \leq t_i$, t_i dura segundos a minutos, y en donde la duración completa del proceso de evaporación por arco voltaico $t_{Tot} = \sum t_i$ de $t_i = 1$ a $t_i = n$.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, en donde t_{ein1} , t_{ein2} o en su caso t_{eini} es un múltiplo entero de un mismo factor $k \geq 1$, en donde $t_{ein1} = k \cdot t_1$, $t_{ein2} = k \cdot t_2$ o en su caso $t_{eini} = k \cdot t_i$.
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde por lo menos dos trayectos de erosión tienen forma circular.
5. Procedimiento según la reivindicación 4, en donde los por lo menos dos trayectos de erosión con forma circular están centrados en el centro de la superficie catódica a evaporar.
6. Procedimiento según la reivindicación 5, en donde la distancia de dos trayectos de erosión con forma circular colindantes presenta al menos 1 mm, preferiblemente de 3 a 10 mm.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde para la generación del campo magnético interno y/o para la generación del campo magnético externo se usa al menos una bobina y para el ajuste de los diferentes campos magnéticos de guía con forma de túnel se modifica la corriente, la cual fluye a través de la bobina.
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde la superficie catódica a evaporar está hecha de un material de grafito o de un material de grafito aleado con otros elementos.
9. Procedimiento según la reivindicación 7 u 8, en donde la bobina es una bobina (22) externa, la cual presenta un núcleo de hierro (24).
10. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde el cátodo (30) tiene forma de placa y presenta una superficie a evaporar circular.

11. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde el campo magnético interno se genera de tal manera que él concentra el comportamiento de recorrido fundamentalmente en el centro del cátodo.
- 5 12. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde cada campo magnético de guía M1, M2 y en su caso Mi se emplea secuencialmente, respectivamente durante un tiempo de encendido t_{ein1} , t_{ein2} y en su caso $t_{ein i}$, de tal manera que se consigue una erosión homogénea de la superficie catódica a evaporar.
- 10 13. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, en donde t_{ein1} , t_{ein2} y en su caso $t_{ein i}$ es un múltiplo entero de un factor propio, no necesariamente igual respectivamente $k1$, $k2$, o en su caso k_i , en donde $t_{ein1} = k1*t1$, $t_{ein2} = k2*t2$ o en su caso $t_{ein i} = k_i*t_i$.
14. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde todos los trayectos de erosión Ei tienen forma circular.
- 15 15. Procedimiento según la reivindicación 14, en donde todos los trayectos de erosión Ei están centrados en el centro de la superficie catódica a evaporar.

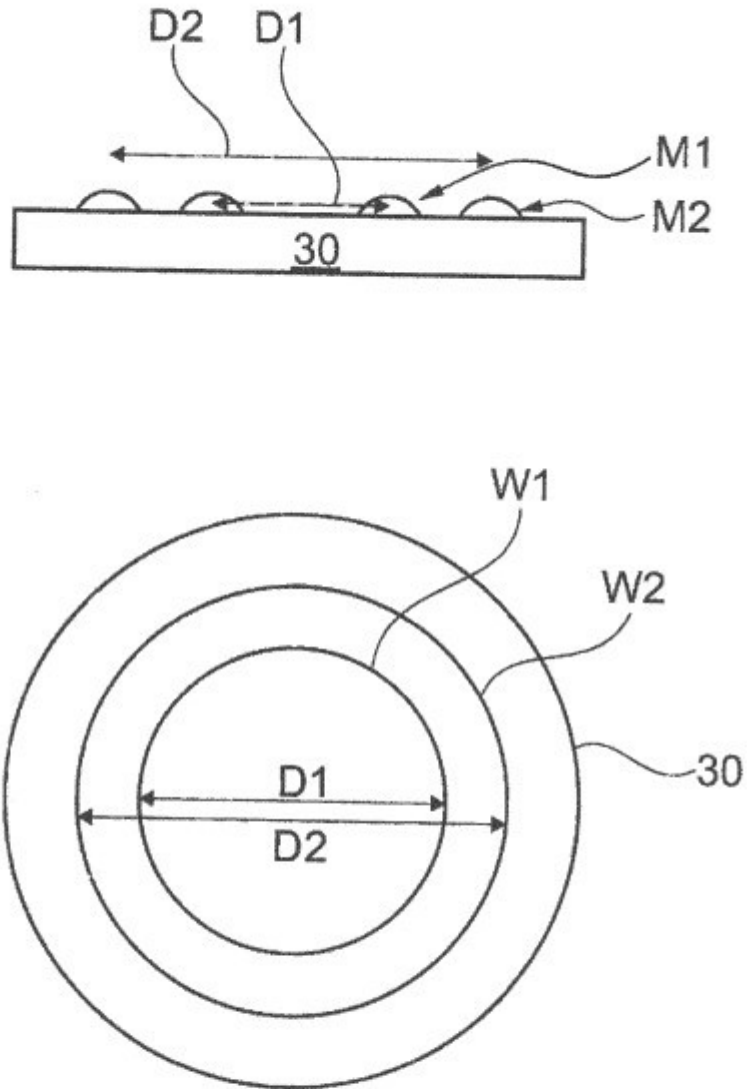


Figura 1

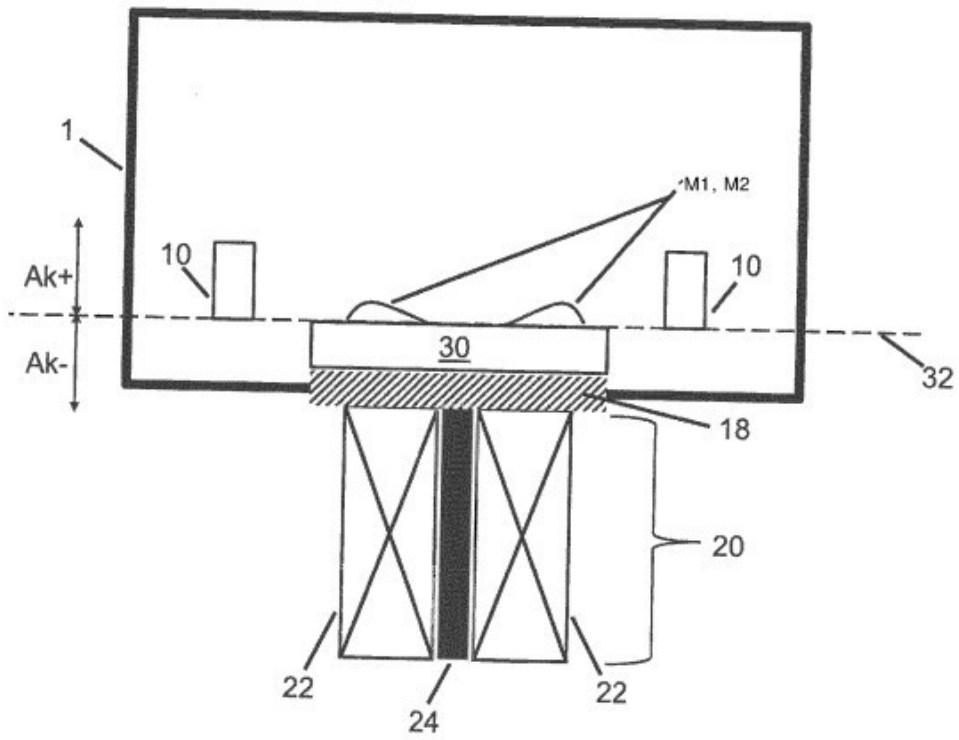


Figura 2

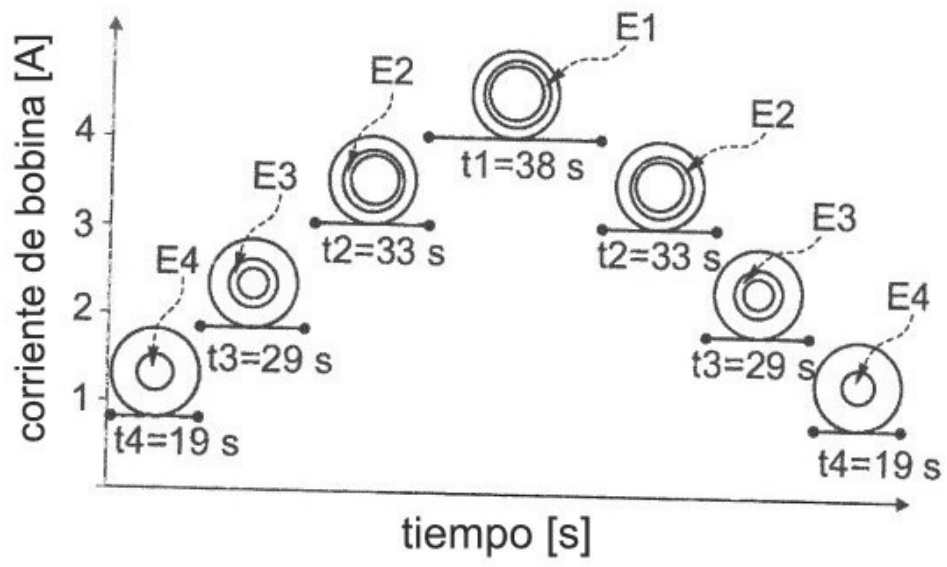


Figura 3