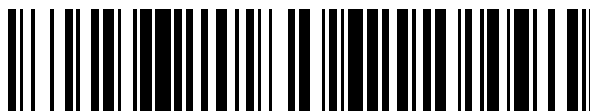


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 666 566**

51 Int. Cl.:

C25C 3/08 (2006.01)

C25C 3/16 (2006.01)

C25C 3/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.12.2006 PCT/EP2006/012310**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.06.2007 WO07071392**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.12.2006 E 06841056 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.02.2018 EP 1974075**

54 Título: **Cátodos para celda de electrolisis de aluminio con revestimiento de grafito expandido**

30 Prioridad:

22.12.2005 EP 05028540

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
07.05.2018

73 Titular/es:

**SGL CFL CE GMBH (100.0%)
Werner-von-Siemens-Strasse 18
86405 Meitingen, DE**

72 Inventor/es:

**HILTMANN, FRANK;
CHRIST, MARTIN;
LANGER, WERNER y
ÖTTINGER, OSWIN**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 666 566 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

Cátodos para celda de electrolisis de aluminio con revestimiento de grafito expandido

La invención se refiere a cátodos para celdas de electrólisis de aluminio que consisten en bloques de cátodos y barras colectoras de corriente unidas a esos bloques, mientras que las ranuras de cátodo que reciben la barra colectoras están revestidas con grafito expandido. Como consecuencia, la resistencia de contacto entre el bloque de cátodo y el sellador de hierro fundido se reduce dando un mejor flujo de corriente a través de esta interfaz. Por lo tanto, el revestimiento de ranura parcial en el centro de la ranura se puede usar para crear una distribución de corriente más uniforme. Esto proporciona una vida útil más larga de tales cátodos por el desgaste reducido del cátodo y de esta manera un aumento de la productividad de la celda. Además, el grafito expandido también actúa como una barrera contra la deposición de compuestos químicos en la interfaz entre el hierro fundido y el bloque de cátodo. También amortigua las tensiones termomecánicas, dependiendo de las características específicas de la calidad del grafito expandido seleccionado.

El aluminio se produce convencionalmente mediante el proceso Hall-Heroult, mediante la electrólisis de alúmina disuelta en electrolitos fundidos a base de criolita a temperaturas de hasta alrededor de 970°C. Una celda de reducción de Hall-Heroult típicamente tiene una carcasa de acero dotada con un revestimiento aislante de material refractario, que a su vez tiene un revestimiento de carbón en contacto con los componentes fundidos. Unas barras colectoras hechas de acero conectadas al polo negativo de una fuente de corriente continua están incrustadas en el sustrato del cátodo de carbón formando el suelo inferior de la celda. En el diseño de la celda convencional, las barras colectoras de cátodo de acero se extienden desde las barras de bus externo a través de cada lado de la celda electrolítica hasta los bloques de cátodo de carbón.

Cada bloque de cátodo tiene en su superficie inferior una o dos ranuras o surcos que se extienden entre extremos laterales opuestos del bloque para recibir las barras colectoras de acero. Esas ranuras se mecanizan típicamente en forma rectangular. Muy cerca de la celda de electrólisis, estas barras colectoras se colocan en dichas ranuras y se unen a los bloques de cátodo más comúnmente con hierro fundido (llamado "envarillado") para facilitar el contacto eléctrico entre los bloques de cátodos de carbón y el acero. Los bloques de cátodos hechos de carbón o de grafito preparados de esta manera se ensamblan en el fondo de la celda usando equipamiento pesado, tal como grúas, y finalmente se unen con una mezcla de apisonamiento de antracita, coque y alquitrán de hulla para formar el suelo inferior de la celda. Una ranura de bloque de cátodo puede alojar una única barra colectoras o dos barras colectoras que se enfrentan entre sí en el centro del bloque de cátodo coincidiendo con el centro de la celda. En este último caso, el hueco entre las barras colectoras se llena con un material aplastable o con un trozo de carbón o con una mezcla de veta apisonada o preferiblemente con una mezcla de tales materiales.

Las celdas de reducción de aluminio de Hall-Heroult se operan a voltajes bajos (por ejemplo, 4-5 V) y corrientes eléctricas altas (por ejemplo, 100.000-350.000 A). La corriente eléctrica alta entra en la celda de reducción desde la parte superior a través de la estructura del ánodo y entonces pasa a través del baño de criolita, a través de una almohadilla metálica de aluminio fundido, entra en el bloque de cátodo de carbón y luego se saca de la celda por las barras colectoras.

El flujo de corriente eléctrica a través de la almohadilla de aluminio y del cátodo sigue el camino de menos resistencia. La resistencia eléctrica en una barra colectoras de cátodo convencional es proporcional a la longitud del camino de corriente desde el punto en que la corriente eléctrica entra en la barra colectoras de cátodo hasta el bus externo más cercano. La resistencia menor del camino de corriente que comienza en puntos en la barra colectoras de cátodo más cerca del bus externo hace que el flujo de corriente dentro de la almohadilla de aluminio fundido y los bloques de cátodos de carbón sea sesgado en esa dirección. Las componentes horizontales del flujo de corriente eléctrica interactúan con el componente vertical del campo magnético en la celda, afectando adversamente a una operación eficiente de celda.

La temperatura alta y la naturaleza química agresiva del electrolito se combinan para crear un entorno de operación hostil. Por lo tanto, la tecnología de barra colectoras de cátodo de celda de Hall-Heroult existente está limitada a secciones de acero templado laminado o fundido. En comparación, las alternativas metálicas potenciales tales como cobre o plata tienen una conductividad eléctrica alta pero puntos de fusión bajos y un coste alto.

Hasta hace algunos años, el punto de fusión alto y el coste del acero bajo compensaban su conductividad eléctrica relativamente escasa. La conductividad eléctrica del acero es tan escasa en relación con la almohadilla metálica de aluminio que el tercio exterior de la barra colectoras, el más cercano al lado del crisol, lleva la mayoría de la carga, creando por ello una distribución de corriente de cátodo muy desigual dentro de cada bloque de cátodo. Debido a las propiedades químicas, las propiedades físicas y, en particular, las propiedades eléctricas de los bloques de cátodos convencionales basados en antracita, la conductividad eléctrica escasa del acero no había presentado una limitación severa del proceso hasta hace poco. En vista de la conductividad relativamente escasa de las barras de acero, el mismo razonamiento es aplicable con respecto a la resistencia de contacto relativamente alta entre el cátodo y el hierro fundido que hasta ahora no ha jugado un papel predominante en los esfuerzos de mejora de la eficiencia de la celda. No obstante, con la tendencia general hacia costes de energía más altos, este efecto llega a ser un factor no despreciable para la eficiencia de la fundición.

Desde entonces, las celdas de electrólisis de aluminio han aumentado de tamaño a medida que el amperaje de operación ha aumentado en la búsqueda de economías de escala. A medida que se ha aumentado el amperaje de operación, los bloques de cátodo de grafito basados en coque y brea en lugar de antracita han llegado a ser comunes y además el porcentaje de grafito en los cátodos ha aumentado para aprovecharse de las propiedades eléctricas mejoradas y maximizar las tasas de producción. En muchos casos, esto ha dado como resultado un movimiento a bloques de cátodos grafitizados parcial o totalmente. La grafitización de los bloques de carbón ocurre en un amplio rango de temperatura que comienza en alrededor de 2000°C extendiéndose hasta 3000°C o incluso más allá. Los términos cátodo "grafitizado parcialmente" o "grafitizado totalmente" se refieren al grado de orden dentro de los dominios de la estructura cristalina del carbón. No obstante, no se puede trazar una línea fronteriza distinta entre esos estados. Principalmente, el grado de cristalización o grafitización, respectivamente, aumenta con la temperatura máxima así como el tiempo de tratamiento en el proceso de calentamiento de los bloques de carbón. Para la descripción de nuestra invención, resumimos esos términos usando los términos "grafito" o "cátodo de grafito" para cualquier bloque de cátodo a temperaturas por encima de alrededor de 2000°C. A su vez, los términos "carbón" o "cátodo de carbón" se usan para bloques de cátodo que se han calentado a temperaturas por debajo de 2000°C.

Desencadenado por la utilización cátodos de carbón y de grafito que proporcionan conductividades eléctricas más altas, se tiene que poner cada vez más atención en algunos efectos técnicos que hasta ahora no estaban enfocados:

- el desgaste de los bloques de cátodos
- la distribución de corriente desigual
- la pérdida de energía en la interfaz entre el bloque de cátodo y el hierro fundido

Los tres efectos están un tanto interrelacionados y cualquier remedio técnico debería abordar idealmente más de un único asunto de esta tríada.

El desgaste de los bloques de cátodos se impulsa principalmente por la erosión mecánica por la turbulencia de la almohadilla metálica, las reacciones electroquímicas que consumen carbón facilitadas por las corrientes eléctricas altas, la penetración de electrolito y aluminio líquido, así como el intercalado de sodio, que causa hinchamiento y deformación de los bloques de cátodos y la mezcla de apisonamiento. Debido a las grietas resultantes en los bloques de cátodos, los componentes del baño migran hacia las barras conductoras del cátodo de acero y forman depósitos en la superficie del sellador de hierro fundido conduciendo al deterioro del contacto eléctrico y a no uniformidad en la distribución de la corriente. Si el aluminio líquido alcanza la superficie del hierro, ocurre inmediatamente una corrosión a través de la aleación y se produce un contenido excesivo de hierro en el metal de aluminio, forzando un apagado prematuro de toda la celda.

El material del cátodo de carbón en sí mismo proporciona una superficie relativamente dura y tenía una vida útil suficiente de cinco a diez años. No obstante, como la caída de voltaje de contacto en la interfaz entre el hierro fundido y los bloques de cátodos llega a ser el efecto perjudicial dominante para la caída de voltaje de cátodo (CVD) global con vida útil creciente de la celda, las celdas en su mayoría necesitan ser vueltas a revestir por razones económicas antes de que el revestimiento de carbón se gaste realmente.

Lo más probable es que la caída de voltaje de contacto creciente en la interfaz entre el hierro fundido y los bloques de cátodo se pueda atribuir a una combinación de dos efectos subordinados. El aluminio difundido a través del bloque de cátodo forma capas aislantes, por ejemplo, de β -alúmina, en dicha interfaz. En segundo lugar, se sabe que el acero así como el carbón se arrastra cuando se expone a tensión durante períodos más largos. Ambos efectos subordinados se pueden atribuir al desgaste del bloque de cátodo, así como a la distribución desigual de corriente y viceversa, si la caída de voltaje de contacto resultante influye perjudicialmente a esos otros dos efectos.

La erosión del bloque de cátodo no ocurre de manera uniforme en toda la longitud del bloque. Especialmente en la aplicación de bloques de cátodos de grafito, el modo de fallo dominante es debido a la erosión altamente localizada de la superficie del bloque de cátodo cerca de sus extremos laterales, que conforman la superficie en un perfil en W y que exponen eventualmente la barra colectora al metal de aluminio. En una serie de diseños de celda, se han observado tasas de erosión pico más altas para estos bloques de contenido de grafito más alto que para bloques de cátodos de carbón convencionales. La erosión en los cátodos de grafito puede progresar incluso a una velocidad de hasta 60 mm por año. El rendimiento de operación se negocia por lo tanto para la vida útil.

Hay un vínculo entre la tasa de desgaste rápido, la ubicación del área de desgaste máximo y la no uniformidad de la distribución de corriente de cátodo. Los cátodos de grafito son más conductivos eléctricamente y como resultado tienen un patrón de distribución de corriente de cátodo mucho menos uniforme y, por lo tanto, sufren un desgaste más alto.

En el documento US 2.786.024 (Wleügel), se propone superar la distribución de corriente de cátodo no uniforme utilizando barras colectoras que se doblan hacia abajo desde el centro de la celda, de modo que el espesor del bloque de cátodo entre la barra colectora y la almohadilla metálica fundida aumenta desde el centro de la celda

hacia los bordes laterales. Los problemas de fabricación y de transporte relacionados con tales componentes curvos evitaron que este planteamiento llegase a ser usado en la práctica.

El documento DE 2 624 171 B2 (Tschopp) describe una celda de electrólisis de aluminio con una densidad de corriente eléctrica uniforme a través de toda la anchura de la celda. Esto se logra disminuyendo gradualmente el espesor de la capa de hierro fundido entre los bloques de cátodo de carbón y las barras colectoras incrustadas hacia el borde de la celda. En una realización adicional de esa invención, la capa de hierro fundido está segmentada por huecos no conductores con un tamaño creciente hacia el borde de la celda. En la práctica, no obstante, también pareció demasiado engorroso y costoso incorporar tales capas de hierro fundido modificadas.

En el documento US 6.387.237 (Homley et al.) se reivindica una celda de electrólisis de aluminio con una densidad de corriente eléctrica uniforme que comprende barras colectoras con insertos de cobre situados en el área próxima al centro de la celda, proporcionando de esta manera una conductividad eléctrica más alta en la región central de la celda. De nuevo, este método no encontró aplicación en celdas de electrólisis de aluminio debido a complejidades técnicas y operacionales añadidas y los costes en la implementación de la solución descrita.

El documento CH 567579 (SIGRI ELEKTROGRAPHIT GMBH) describe un cátodo para celdas de electrólisis de aluminio que comprende un bloque de cátodo de carbón con una ranura de barra colectora que recibe un colector de corriente hecho de acero, en el que la ranura de barra colectora se puede revestir con una lámina de grafito o con un complejo hecho de lámina de grafito y una capa adicional que contiene grafito o carbón.

Además, cualquier planteamiento de la técnica anterior consideraba meramente la distribución de corriente uniforme dentro del plano horizontal a lo largo del eje longitudinal del bloque de cátodo de carbón y la barra colectora, respectivamente. No obstante, la otra dimensión, esto es, el plano horizontal a través de la anchura del bloque de cátodo también juega un papel significativo cuando se considera la corriente eléctrica que pasa a través de la celda desde el ánodo hasta la barra colectora.

Por consiguiente, con el fin de darse cuenta plenamente de los beneficios de operación de los bloques de cátodo de carbón y de grafito sin ninguna solución de compromiso con respecto a los procedimientos operacionales existentes y los costes relacionados hay una necesidad de disminuir las tasas de desgaste de cátodo y aumentar la vida de la celda proporcionando una distribución de corriente de cátodo más uniforme y, al mismo tiempo, proporcionando medios para un contacto eléctrico mejorado y sostenido en la interfaz entre el hierro fundido y el bloque de cátodo.

Además, hay una necesidad de proporcionar una distribución de corriente de cátodo más uniforme no sólo a lo largo de la longitud del bloque, sino también a través de su anchura.

Además, el paso de fundir hierro en las ranuras con el fin de fijar las barras colectoras (llamado "envarillado") es engorroso y requiere equipamiento pesado y trabajo manual. Para simplificar aún más los procedimientos de ensamblaje del cátodo, hay una necesidad de evitar por completo fundir hierro para fijar las barras colectoras a los cátodos.

Por lo tanto, es un objeto de la presente invención proporcionar bloques de cátodos con ranuras para recibir las barras colectoras, caracterizados por las ranuras que están revestidas total o parcialmente con grafito expandido. El grafito expandido (EG) proporciona una buena conductividad eléctrica y térmica especialmente con su capa plana. También proporciona algo de suavidad y una buena resiliencia haciéndolo un material común para aplicaciones de juntas. Esas características lo hacen un material ideal para mejorar la resistencia de contacto entre el bloque de grafito y el hierro fundido. La resiliencia también ralentiza significativamente el aumento gradual de la caída de voltaje de contacto en la interfaz entre el hierro fundido y los bloques de cátodos durante la electrólisis en la medida que puede rellenar los huecos formados debido al arrastre del acero así como del carbón. El aumento gradual de la caída de voltaje de contacto en la interfaz entre el hierro fundido y los bloques de cátodos se reduce aún más, especialmente por el revestimiento de EG en la cara inferior de la ranura del cátodo, en la medida que actúa como barrera a, por ejemplo, aluminio difundido a través del bloque de cátodo, evitando de esta manera la formación de capas aislantes, por ejemplo, de β -alúmina, en dicha interfaz.

Además, la resiliencia del EG alivia la tensión mecánica debida a los diferentes coeficientes de expansión térmica que ocurren entre la barra colectora de acero, el hierro fundido y el bloque de cátodo. La expansión térmica de los diferentes materiales ocurre principalmente durante un calentamiento operacional previo de la celda de electrólisis y también durante el envarillado y frecuentemente da como resultado grietas en el bloque de cátodo que reducen aún más su vida útil.

Otro objeto de esta invención es proporcionar bloques de cátodo que tengan la ranura completamente revestida con EG. En ese caso, el contacto eléctrico con el hierro fundido se mejora en toda el área de la ranura entera.

Otro objeto de esta invención es proporcionar bloques de cátodos que tengan la ranura revestida parcialmente con EG.

En una realización preferida, la ranura está revestida con EG solamente en ambas de sus caras laterales. Esta realización facilita una distribución de corriente más uniforme, especialmente a lo largo de la anchura del bloque de cátodo y alivia la tensión mecánica que ocurre predominantemente en las caras laterales de la ranura.

5 Otro objeto de esta invención es proporcionar bloques de cátodos que tengan la ranura revestida con EG solamente en su área central. A través de este método, las líneas del campo eléctrico, es decir, la corriente eléctrica, se alejan de los bordes laterales del bloque hacia el centro del bloque. Además, esta realización proporciona una mejora considerable en la distribución de corriente uniforme no solamente a lo largo de la longitud del bloque de cátodo, sino también de la anchura del bloque en caso de que solamente las caras laterales de la ranura estén revestidas con EG.

10 Otro objeto de esta invención es proporcionar bloques de cátodos que tengan la ranura revestida con EG de espesor y/o densidad diferentes. Como las temperaturas operacionales son más altas en el centro de celda, la gestión de la expansión térmica y la fluencia de los diversos materiales es más desafiante en el centro del cátodo (es decir, celda). Por lo tanto, el revestimiento de EG con mayor espesor y/o menor densidad se debería colocar preferiblemente en el área central del cátodo para abrir una "trayectoria" de resiliencia más larga.

15 El mismo principio se puede aplicar revistiendo la cara inferior de la ranura con un revestimiento más fino y/o más denso que ambas caras laterales donde prevalecen las tensiones mecánicas.

Otro objeto de esta invención es proporcionar un método de fabricación de cátodos para celdas de electrólisis de aluminio fabricando un bloque de cátodo de carbón o de grafito, revistiendo la ranura total o parcialmente con EG y finalmente uniendo una barra colectora de acero a tal bloque revestido, lo que se hace preferiblemente mediante
20 hierro fundido.

Otro objeto de esta invención es proporcionar cátodos para celdas de electrólisis de aluminio que comprenden un bloque de cátodo de carbón o de grafito que tiene un revestimiento de EG en su ranura y una barra colectora de acero fijada directamente a tal bloque de cátodo.

25 En una realización preferida, tales bloques de cátodos de carbón o de grafito se dotan con dimensiones de ranura reducidas.

En una realización preferida, el revestimiento de EG en forma de una lámina se fija primero con un pegamento a la barra colectora cubriendo las superficies opuestas a las superficies de la ranura, la barra colectora preparada de esta manera se inserta finalmente en la ranura.

30 Otro objeto de esta invención es proporcionar un método de fabricación de bloques de cátodos que tenga la ranura revestida con EG, mientras que el revestimiento de EG en forma de una lámina se fija al cátodo mediante un pegamento.

En una realización preferida, el revestimiento de EG en forma de una lámina se fija a la barra colectora y/o el cátodo mediante una aplicación de un pegamento solamente en áreas seleccionadas.

La invención se describirá ahora con más detalle con referencia a los dibujos anexos en los cuales:

35 La figura 1 es una vista en sección transversal esquemática de una celda electrolítica de la técnica anterior para la producción de aluminio que muestra la distribución de corriente de cátodo.

La figura 2 muestra la vista lateral esquemática de una celda electrolítica de la técnica anterior para la producción de aluminio que muestra la distribución de corriente de cátodo.

La figura 3 es una vista lateral esquemática de un cátodo según esta invención.

40 La figura 4 es una vista en sección transversal esquemática de una celda electrolítica para la producción de aluminio con un cátodo según esta invención que muestra la distribución de corriente de cátodo.

La figura 5 es una vista lateral esquemática de un cátodo según esta invención, que representa una realización preferida de esta invención.

45 La figura 6 muestra la vista lateral esquemática de una celda electrolítica para la producción de aluminio con un cátodo según esta invención que muestra la distribución de corriente de cátodo.

La figura 7 es una vista superior esquemática de un cátodo según esta invención, que representa una realización preferida de esta invención.

La figura 8 es una vista lateral esquemática de un cátodo según esta invención, que representa una realización preferida de esta invención.

La figura 9 representa esquemáticamente la configuración de pruebas de laboratorio para probar el cambio de la resistencia a través del plano bajo carga.

La figura 10 muestra los resultados obtenidos a partir de pruebas del cambio de resistencia a través del plano bajo carga usando lámina de grafito expandido.

- 5 Con referencia a la FIG. 1, se muestra un corte transversal de una celda electrolítica para la producción de aluminio, que tiene un cátodo 1 de la técnica anterior. La barra colectora 2 tiene una sección transversal rectangular y está fabricada de acero templado. Está incrustada en la ranura de barra colectora 3 del bloque de cátodo 4 y conectada a ella mediante hierro fundido 5. El bloque de cátodo 4 se hace de carbón o de grafito mediante métodos bien conocidos por los expertos en la técnica.
- 10 No se muestran la carcasa de acero de la celda y la capucha hecha de acero que define la cámara de reacción de la celda revestida en su parte inferior y sus lados con ladrillos refractarios. El bloque de cátodo 4 está en contacto directo con una almohadilla metálica de aluminio fundido 6 que está cubierta por el baño de electrolito fundido 7. Una corriente eléctrica entra en la celda a través de los ánodos 8, pasa a través del baño electrolítico 7 y la almohadilla metálica fundida 6 y luego entra en el bloque de cátodo 4. La corriente se saca de la celda a través del hierro fundido 5 mediante las barras colectoras del cátodo 2 que se extienden desde las barras colectoras fuera de la pared de la celda. La celda está construida simétricamente, como se indica por la línea central de la celda C.

20 Como se muestra en la FIG. 1, las líneas de corriente eléctrica 10 en una celda electrolítica de la técnica anterior no están distribuidas uniformemente y se concentran más hacia los extremos de la barra colectora en el borde lateral del cátodo. La distribución de corriente más baja se encuentra en el medio del cátodo 1. Los patrones de desgaste localizado observados en el bloque de cátodo 4 son más profundos en el área de densidad de corriente eléctrica más alta. Esta distribución de corriente no uniforme es la causa principal de la erosión que progresa desde la superficie de un bloque de cátodo 4 hasta que alcanza la barra colectora 2. Ese patrón de erosión típicamente da como resultado una "forma en W" de la superficie del bloque de cátodo 4.

25 En la FIG. 2, se representa una vista lateral esquemática de una celda electrolítica equipada con un cátodo 1 de la técnica anterior. Los cátodos 1 vecinos no se muestran en esta figura esquemática, pero en general cualquier descripción adicional relacionada con un único cátodo ha de ser aplicada a la entidad de todos los cátodos de una celda electrolítica. La barra colectora 2 está incrustada en la ranura de barra colectora 3 del bloque de cátodo 4 y asegurada a ella mediante hierro fundido 5. Las líneas de distribución de corriente eléctrica 10 en el cátodo 1 de la técnica anterior están distribuidas de manera no uniforme y están fuertemente enfocadas hacia la parte superior de la barra colectora 2.

La FIG. 3 muestra una vista lateral de una celda electrolítica equipada con un cátodo 1 según esta invención. La barra colectora 2 está incrustada en la ranura de barra colectora 3 del bloque de cátodo 4 y asegurada a ella mediante hierro fundido 5. Según la invención, la ranura de barra colectora 3 está revestida con un revestimiento de grafito expandido 9.

35 El revestimiento de grafito expandido 9 según esta invención se usa preferiblemente en forma de una lámina. La lámina se fabrica comprimiendo virutas de grafito expandido natural bajo alta presión usando rodillos de calandrado a una lámina de una densidad de 0,2 a 1,9 g/cm³ y un espesor entre 0,05 a 5 mm. Opcionalmente, la lámina se puede impregnar o recubrir con diversos agentes con el fin de aumentar su vida útil y/o ajustar su estructura superficial. Esto se puede seguir presionando un sándwich de la lámina obtenida y un material de refuerzo a placas que tienen un espesor que oscila entre 0,5 y 4 mm. Tales procesos de fabricación de láminas de grafito expandido son bien conocidos por los expertos en la técnica.

40 El revestimiento de grafito expandido 9 se fija preferiblemente a la barra colectora y/o al cátodo aplicando un pegamento. El pegamento debería ser preferiblemente un compuesto carbonáceo con pocos contaminantes metálicos, tal como resina fenólica. Se pueden usar otros pegamentos según sea adecuado. Preferiblemente, el pegamento se aplica en áreas seleccionadas del revestimiento solamente. Por ejemplo, una aplicación puntiforme del pegamento es suficiente en la medida que el revestimiento solamente se debería fijar para el paso de colada posterior. El pegamento se aplica al lado del revestimiento recortado que contactará con el bloque de cátodo 4. Más tarde, el revestimiento preparado de esta manera se aplica preferiblemente por medio de rodillos.

Después de revestir la superficie de la ranura de barra colectora 3 con el revestimiento de grafito expandido 9, finalmente una barra colectora de acero 2 se asegura a tal bloque revestido mediante hierro fundido 5.

La FIG. 4 muestra una vista en sección transversal esquemática de una celda electrolítica para la producción de aluminio con un cátodo 1 según esta invención. Por debajo de la cara superior de la ranura de barra colectora 3, se ve el revestimiento de grafito expandido 9. Debido al punto de vista de la sección transversal, están ocultas ambas caras laterales de la ranura de barra colectora 3, revestidas con revestimiento de grafito expandido 9. En comparación con la técnica anterior (Fig. 1), las líneas de distribución de corriente de celda 10 se distribuyeron más uniformemente a través de la longitud del cátodo 1 debido al mejor contacto eléctrico con el hierro fundido 5 facilitado por el revestimiento de grafito expandido 9. No obstante, esta realización proporciona también una mejora

considerable en la distribución de corriente uniforme a través de la anchura del bloque de cátodo 4 en comparación con la técnica anterior.

Se puede lograr una distribución de corriente incluso más uniforme a través de la longitud y/o la anchura de un cátodo 1 según esta invención si la ranura de barra colectora 3 está revestida con un revestimiento de grafito expandido 9 de diferente espesor y/o densidad.

En una realización, la ranura de barra colectora 3 está revestida con un revestimiento de grafito expandido 9 que es del 10 al 50% más delgado y/o del 10 al 50% más denso en el centro del cátodo que en su borde.

En otra realización, el revestimiento de grafito expandido 9 en la cara superior de la ranura de barra colectora 3 es diferente del revestimiento de grafito expandido 9 en ambas caras laterales. Preferiblemente, la ranura de barra colectora 3 está revestida con un revestimiento de grafito expandido 9 que es del 10 al 50% más delgado y/o del 10 al 50% más denso en la cara superior que en ambas caras laterales.

Esta realización proporciona una mejora considerable en la distribución de corriente uniforme específicamente a través de la anchura del bloque de cátodo 4, así como que amortigua la tensión termomecánica que prevalece en las caras laterales de la ranura de barra colectora 3.

La FIG. 5 muestra una vista lateral de una celda electrolítica equipada con un cátodo 1 según esta invención. La barra colectora 2 está incrustada en la ranura de barra colectora 3 del bloque de cátodo 4 y asegurada a ella mediante hierro fundido 5. Según una realización preferida de la invención, solamente las dos caras laterales de la ranura de barra colectora 3 están revestidas con un revestimiento de grafito expandido 9.

Como se representa en la FIG. 6, esta realización proporciona una mejora considerable en la distribución de corriente uniforme específicamente a través de la anchura del bloque de cátodo 4 en comparación con la técnica anterior (FIG. 2). Además, se amortigua la tensión termomecánica que prevalece en las caras laterales de la ranura de barra colectora 3.

La FIG. 7 muestra una vista superior esquemática de un cátodo 1 según esta invención, que representa otra realización preferida de esta invención. En esta figura, el hierro fundido 5 no se muestra por simplicidad. La FIG. 7 muestra más bien la configuración del cátodo 1 antes de que se vierta el hierro fundido 5 en la ranura de barra colectora 3. En esta realización, solamente las dos caras laterales de la ranura de barra colectora 3 están revestidas con revestimiento de grafito expandido 9 solamente en el área central del cátodo 1. Esta realización proporciona un uso mínimo del recubrimiento de grafito expandido 9 con los resultados más eficientes.

La FIG. 8 es una vista lateral esquemática de un cátodo 1 según esta invención, que representa otra realización preferida de esta invención. En este caso, la barra colectora 2 está asegurada al bloque de cátodo 4 meramente mediante un revestimiento de grafito expandido 9 sin hierro fundido 5. Esta realización deja obsoleto el laborioso procedimiento de colada y, al mismo tiempo, proporciona las ventajas descritas anteriormente de usar revestimiento de grafito expandido 9. Preferiblemente, por el principio de bloqueo positivo o bloqueo de fricción. Por ejemplo, la ranura de barra colectora 3 puede tener una forma machihembrada. El encolado también es adecuado para asegurar la barra colectora 2 al bloque de cátodo 4.

Esta realización también permite disminuir las dimensiones de la ranura de barra colectora 3.

La FIG. 9 representa esquemáticamente la configuración de pruebas de laboratorio para probar el cambio de resistencia a través del plano bajo carga. Esta configuración de prueba se usó para imitar los efectos del uso de revestimiento de grafito expandido 9 para revestir la ranura de barra colectora 3. Se han probado varios tipos y espesores de lámina de grafito expandido (por ejemplo SIGRAFLEX F02012Z) usando ciclos de carga/descarga. El tamaño de la muestra fue de 25 mm de diámetro. Las pruebas se llevaron a cabo usando una máquina de pruebas universal (FRANK PRÜFGERÄTE GmbH).

La FIG. 10 muestra los resultados obtenidos a partir de probar el cambio de la resistencia a través del plano bajo carga usando lámina de grafito expandido SIGRAFLEX F02012Z y material de cátodo de tipo WAL65 fabricado comercialmente por SGL Carbon Group. Este resultado muestra el cambio en la resistencia a través del plano del sistema de la técnica anterior de hierro fundido/WAL65 (marcado como "sin lámina") y el sistema inventivo F02012Z/hierr fundido/WAL65 (marcado "con lámina"). Una comparación de las dos curvas de prueba revela claramente la disminución significativa de la resistencia a través del plano, especialmente a cargas más bajas por el sistema de inventivo con grafito expandido. Esta ventaja también se mantiene tras la relajación de la carga debida a la resiliencia del grafito expandido.

Aunque varios dibujos muestran bloques de cátodo, o partes del mismo, que tienen una única ranura de barra colectora, esta invención se aplica a bloques de cátodos con más de una ranura de barra colectora de la misma manera.

La invención se describe además mediante los siguientes ejemplos:

Ejemplo 1

100 partes de coque de petróleo con un tamaño de grano de 12 μm a 7 mm se mezclaron con 25 partes de brea a 150°C en un mezclador de cuchillas durante 10 minutos. La masa resultante se extrusionó a unos bloques de las dimensiones 700 x 500 x 3400 mm (ancho x alto x largo). Estos denominados bloques verdes se colocaron en un
5 horno de anillo, se cubrieron con coque metalúrgico y se calentaron a 900°C. Los bloques carbonizados resultantes se calentaron entonces a 2800°C en un horno de grafitización longitudinal. Más tarde, los bloques de cátodos en bruto se recortaron a sus dimensiones finales de 650 x 450 x 3270 mm (ancho x alto x largo). Se cortaron dos ranuras de barra colectora de 135 mm de anchura y 165 mm de profundidad de cada bloque, seguido por el revestimiento de toda el área de la ranura con una lámina de grafito expandido tipo SIGRAFLEX F03811 de 0,38 mm
10 de espesor y 1,1 g/cm³ de densidad. El revestimiento se logró cortando una pieza de la lámina de grafito expandido según las dimensiones de la ranura, aplicando un pegamento de resina fenólica a un lado de esta lámina de manera puntiforme, y fijando esta lámina a la superficie de la ranura mediante un rodillo.

Más tarde, se encajaron las barras colectoras de acero en la ranura. La conexión eléctrica se hizo en la forma convencional vertiendo hierro fundido líquido en el hueco entre las barras colectoras y la lámina. Los bloques de
15 cátodos se colocaron en una celda de electrólisis de aluminio.

Ejemplo 2

Se fabricaron bloques de cátodo recortados a sus dimensiones finales según el ejemplo 1. Se cortaron dos ranuras de barras colectoras paralelas de 135 mm de anchura y de 165 mm de profundidad cada una de cada bloque. Solamente los lados verticales de las ranuras estaban revestidos con una lámina de grafito expandido de tipo
20 SIGRAFLEX F05007 de 0,5 mm de espesor y de 0,7 g/cm³ de densidad, comenzando a 80 cm de cada extremo lateral del bloque. Más tarde, se colocaron las barras colectoras de acero en las ranuras y se hizo la conexión como en el ejemplo 1. Los bloques de cátodo se colocaron en una celda de electrólisis de aluminio.

Ejemplo 3

Los bloques de cátodos recortados a sus dimensiones finales se fabricaron según el ejemplo 1. Se cortaron dos
25 ranuras de barras colectoras paralelas de 151 mm de anchura y de 166 mm de profundidad de cada bloque. Se cubrieron dos barras colectoras con 150 mm de anchura y 165 mm de altura con 2 capas de lámina de grafito expandido de 0,5 mm de espesor de tipo SIGRAFLEX F05007 en tres de sus superficies más tarde opuestas a las superficies de las ranuras. Las barras cubiertas de esta manera se insertaron en las ranuras asegurando un ajuste moderadamente apretado a temperatura ambiente. Las barras se sujetaron mecánicamente para evitar que se
30 deslizaran mientras se manipulaban. Más tarde, los bloques de cátodos se colocaron en una celda de electrólisis de aluminio.

Habiendo descrito de esta manera las realizaciones actualmente preferidas de nuestra invención, ha de ser entendido que la invención puede ser incorporada de otra manera sin apartarse del alcance de las siguientes reivindicaciones.

35 Claves para las figuras

- (1) cátodo
- (2) barra colectora hecha de acero
- (3) ranura de barra colectora
- (4) bloque de cátodo de carbón o de grafito
- 40 (5) hierro fundido
- (6) almohadilla metálica de aluminio
- (7) baño de electrolito fundido
- (8) ánodo
- (9) revestimiento de grafito expandido
- 45 (10) líneas de distribución de corriente de celda.

REIVINDICACIONES

1. Un cátodo (1) para celdas de electrolisis de aluminio que comprenden un bloque de cátodo de carbón o de grafito (4) con una ranura de barra colectora (3) que recibe una barra colectora de corriente hecha de acero (2), en donde la ranura de barra colectora (3) está revestida con un revestimiento de grafito expandido (9).
- 5 2. El cátodo (1) según la reivindicación 1, en donde la ranura de barra colectora (3) está completamente revestida con un revestimiento de grafito expandido (9).
3. El cátodo (1) según la reivindicación 1, en donde la ranura de barra colectora (3) está parcialmente revestida con un revestimiento de grafito expandido (9).
- 10 4. El cátodo (1) según la reivindicación 3, en donde la ranura de barra colectora (3) está revestida con un revestimiento de grafito expandido (9) solamente en ambas de sus caras laterales.
5. El cátodo (1) según la reivindicaciones 3 o 4, en donde la ranura de barra colectora (3) está revestida con un revestimiento de grafito expandido (9) solamente en su área central cubriendo del 30 al 60% de la longitud del cátodo.
- 15 6. El cátodo (1) según una de las reivindicaciones 1 a 5, en donde la ranura de barra colectora (3) está revestida con un revestimiento de grafito expandido (9) de diferente espesor y/o densidad.
7. El cátodo (1) según la reivindicación 6, en donde la ranura de barra colectora (3) está revestida con un revestimiento de grafito expandido (9) de un 10 a un 50% de mayor espesor y/o de un 10 a un 50% de menor densidad en el área central de cátodo que en su borde.
- 20 8. El cátodo (1) según la reivindicación 6, en donde la ranura de barra colectora (3) está revestida con un revestimiento de grafito expandido (9) de un 10 a un 50% de mayor espesor y/o de un 10 a un 50% de menor densidad en ambas caras laterales que en la cara superior.
9. El cátodo (1) según una de las reivindicaciones 1 a 8, en donde la ranura de barra colectora (3) está revestida con un revestimiento de grafito expandido (9) y una barra colectora de acero (2) está fijada al bloque de cátodo (4) mediante hierro fundido (5).
- 25 10. El cátodo (1) según una de las reivindicaciones 1 a 8, en donde la ranura de barra colectora (3) está revestida con un revestimiento de grafito expandido (9) y una barra colectora de acero (2) está fijada al bloque de cátodo (4) mediante el revestimiento de grafito expandido (9).
11. El cátodo (1) según la reivindicación 10, en donde el bloque de cátodo (4) está dotado con dimensiones reducidas de la ranura de barra colectora (3).
- 30 12. El cátodo (1) según una de las reivindicaciones 1 a 11 que tiene más de una ranura de barra colectora (3).
13. Un método de fabricación de cátodos (1) para celdas de electrólisis de aluminio según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, caracterizado por los pasos de
 - fabricar un bloque de cátodo de carbón o de grafito (4),
 - revestir una ranura de barra colectora (3) completa o parcialmente con el revestimiento de grafito expandido (9)
 - 35 y
 - encajar una barra colectora de acero (2) en tal bloque revestido (4).
14. El método según la reivindicación 13 caracterizado por el paso de que el ajuste de una barra colectora de acero (2) en un bloque revestido (4) se hace mediante hierro fundido (5).
- 40 15. El método de fabricación de cátodos (1) según las reivindicaciones 13 y 14, por el cual el revestimiento de grafito expandido (9) se fija al bloque de cátodo (4) mediante un pegamento.
16. El método de fabricación de cátodos (1) según la reivindicación 15, por el cual el revestimiento de grafito expandido (9) se fija al bloque de cátodo (4) mediante una aplicación de un pegamento solamente en áreas seleccionadas.
17. Las celdas de electrólisis de aluminio que contienen cátodos (1) según una de las reivindicaciones 1 a 12.

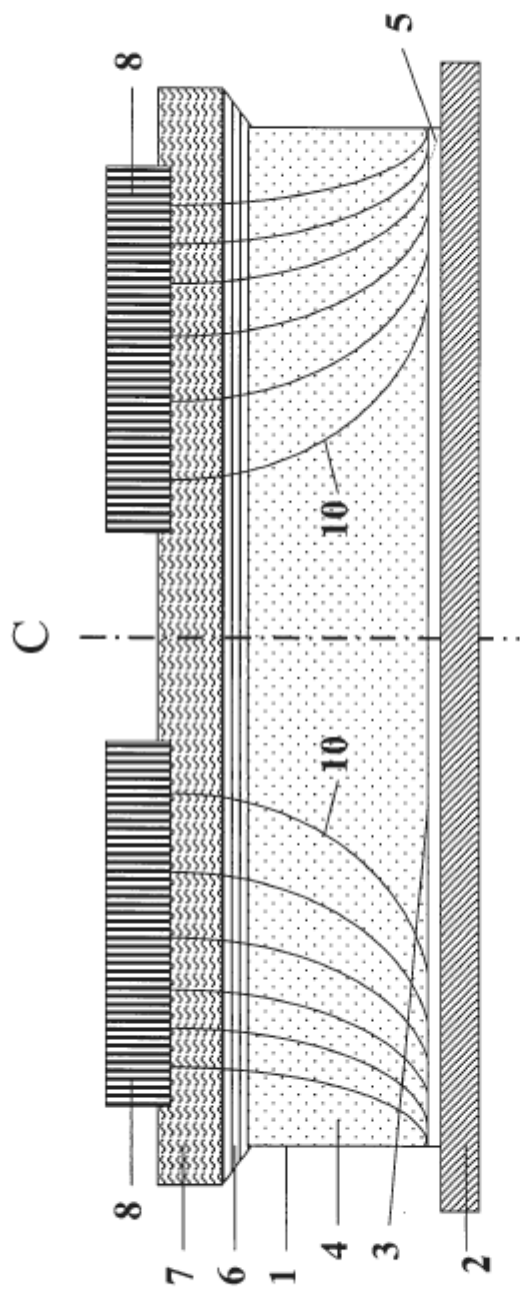


Figura 1

Técnica anterior

Figura 2
Técnica anterior

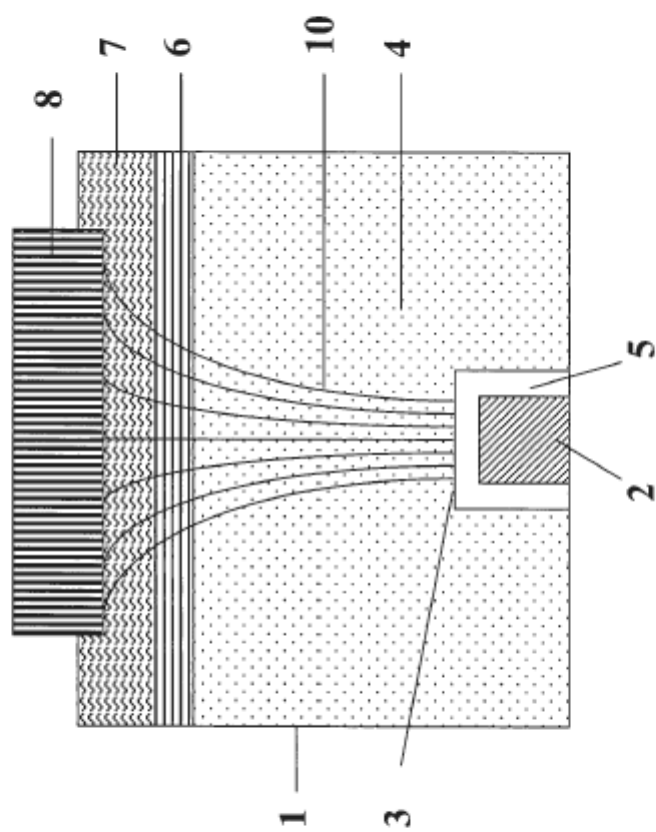
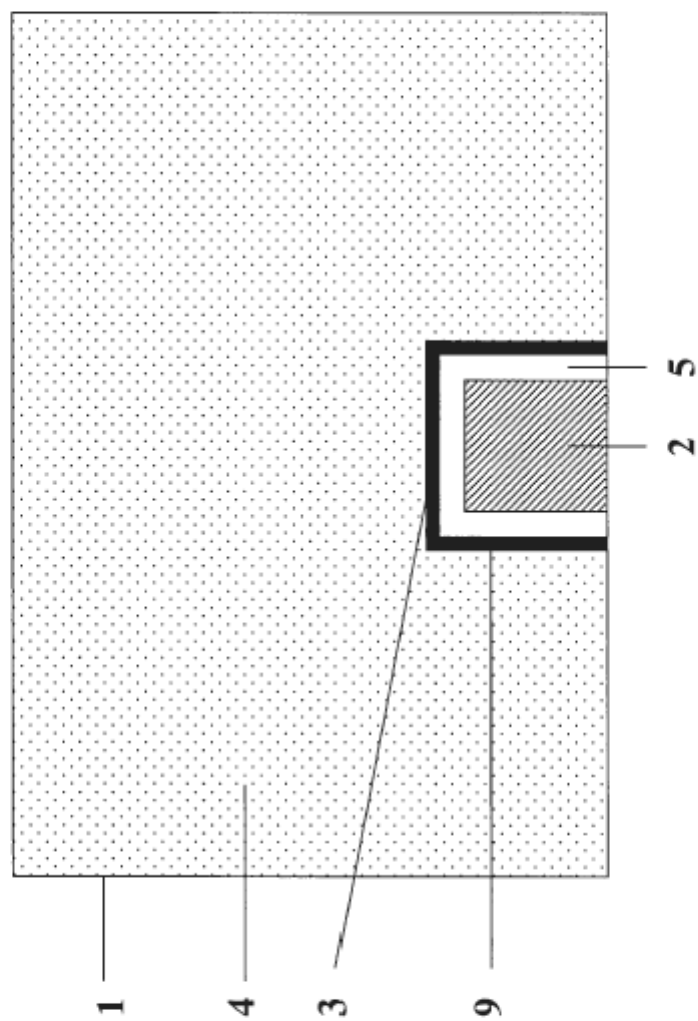


Figura 3



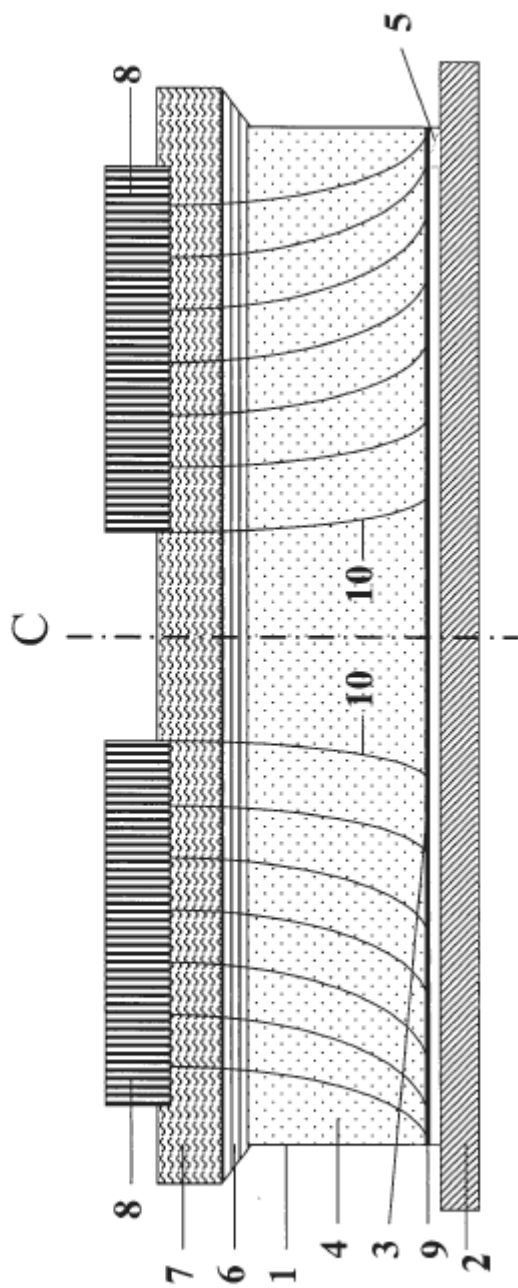


Figura 4

Figura 5

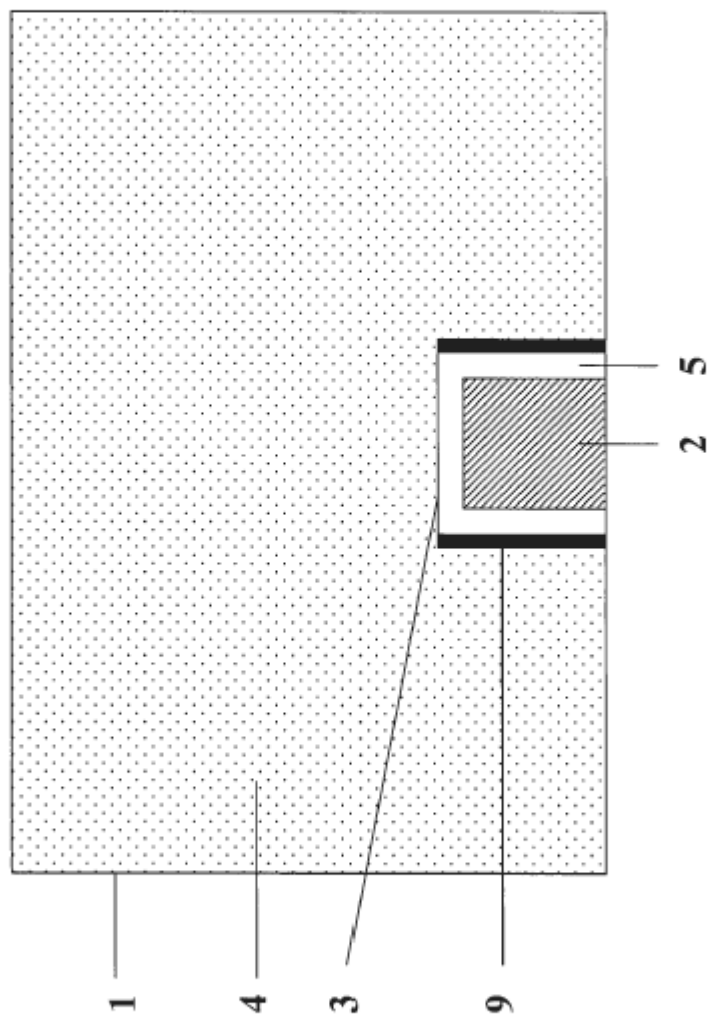


Figura 6

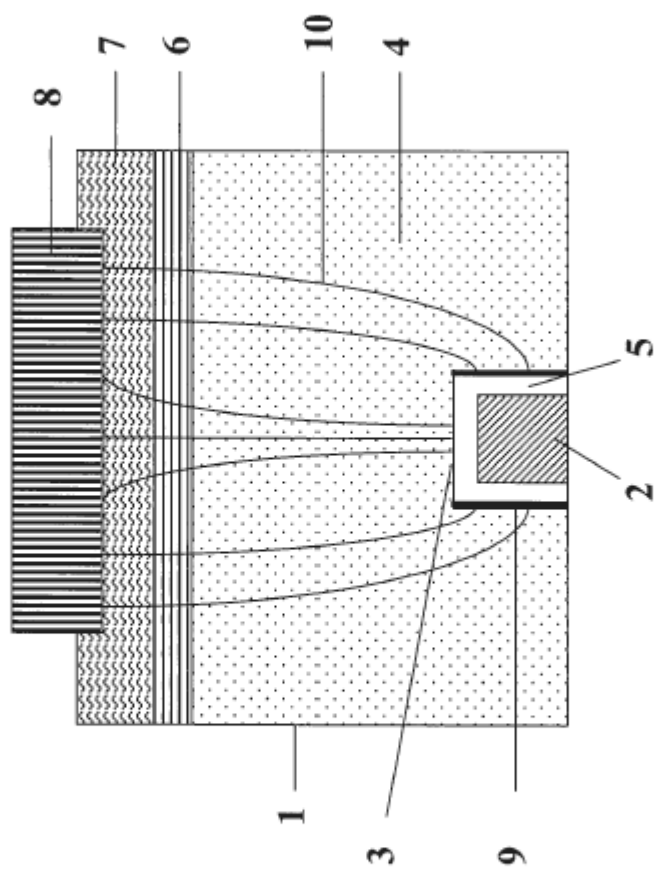


Figura 7

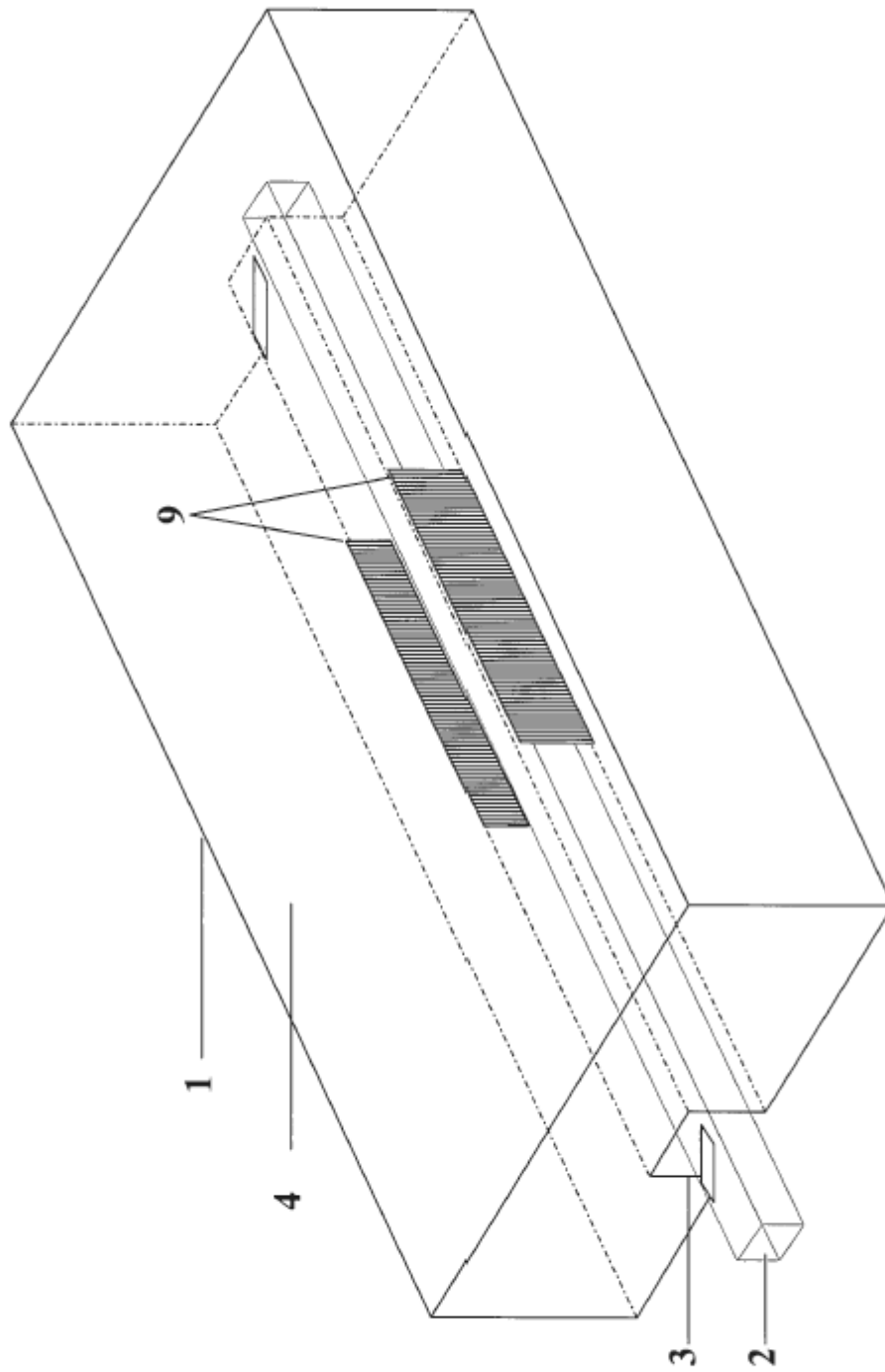


Figura 8

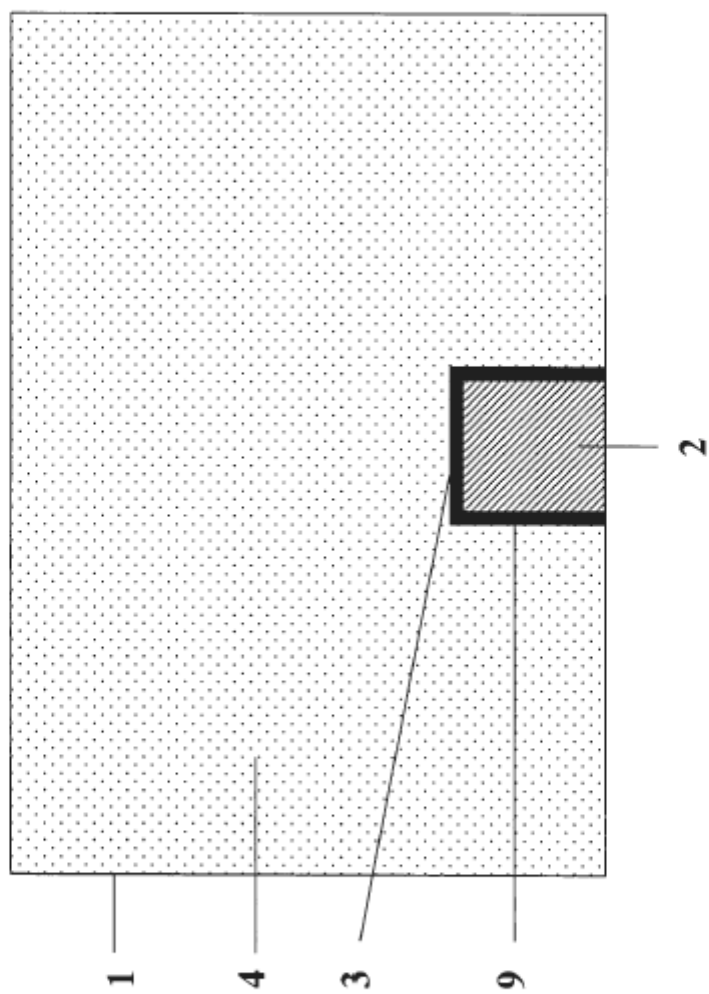


Figura 9

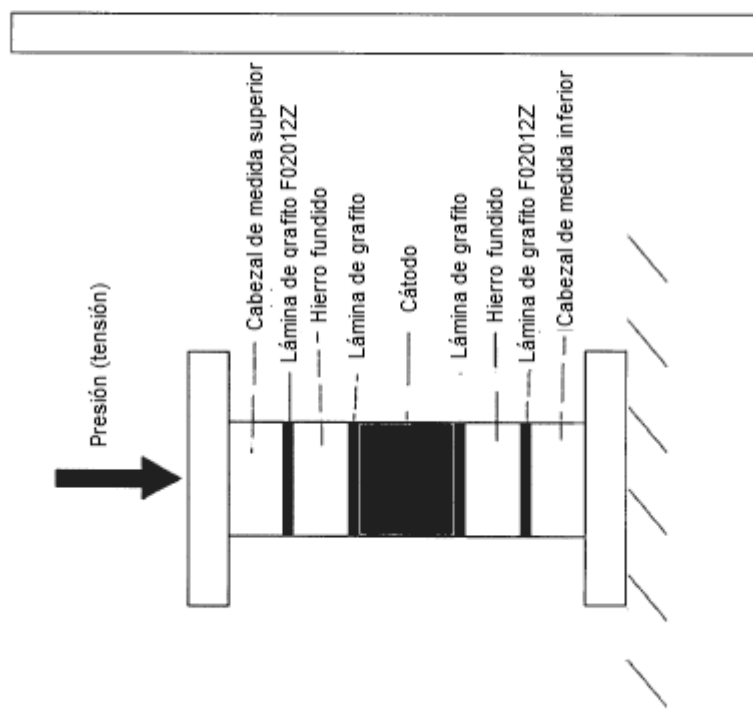


Figura 10

