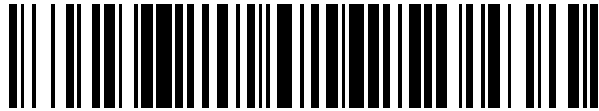


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 680 144**

51 Int. Cl.:

**C25C 3/20** (2006.01)

**G01S 5/16** (2006.01)

**C25C 3/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.11.2012 PCT/EP2012/072318**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.05.2013 WO13068558**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.11.2012 E 12783612 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.05.2018 EP 2776610**

54 Título: **Método para medir perfiles de superficie en celdas de electrólisis de aluminio en funcionamiento**

30 Prioridad:

**11.11.2011 EP 11188899**

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

**04.09.2018**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**PACHARZYNA, RAFAL y  
ORACZ, TOMASZ**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 680 144 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

Método para medir perfiles de superficie en celdas de electrólisis de aluminio en funcionamiento

5 La presente invención se refiere a un aparato para medir perfiles de superficie, en particular el perfil de desgaste del cátodo y el perfil del reborde lateral, o de los rebordes laterales, de celdas de electrólisis de aluminio, y a un método de medición de dichos perfiles de superficie en celdas de electrólisis de aluminio.

Las celdas de electrólisis de este tipo se emplean para la producción de aluminio electrolíticamente, especialmente según el proceso Hall-Héroult. En el proceso Hall-Héroult, se electroliza una masa fundida que contiene alúmina y criolita. La criolita sirve para reducir el punto de fusión de 2.045 °C de la alúmina pura a uno de aproximadamente 950 °C de una mezcla que contiene criolita, alúmina y aditivos, tal como fluoruro de aluminio y fluoruro de calcio.

10 La celda de electrólisis empleada para este método comprende un fondo de celda que está formado por una pluralidad de bloques de cátodo adyacentes que conforman el cátodo. Se ha de entender que las uniones entre los bloques de cátodo adyacentes, así como las uniones periféricas entre los bloques de cátodo y las paredes laterales de la celda también se consideran como parte del cátodo. Al objeto de soportar las condiciones térmicas y químicas en una celda en funcionamiento, los bloques de cátodo normalmente están compuestos por un material que contiene carbono. En la parte inferior de los bloques de cátodo se proporcionan unas ranuras en las que se dispone al menos un colector de corriente, a través del cual se conduce la corriente que se proporciona a través de los ánodos. De 3 a 5 cm por encima de la capa de aluminio fundido presente por encima de la parte superior del cátodo, se dispone un ánodo que está compuesto por bloques de ánodo individuales. Entre el ánodo y la superficie del aluminio, está presente la masa fundida de electrolito que contiene alúmina y criolita.

20 En las figuras 1a a 1c se muestra de forma esquemática el diseño fundamental de una celda de electrólisis para el proceso Hall-Héroult. La figura 1a ilustra una sección transversal de una celda convencional, la figura 1b es una vista lateral de la celda y la figura 1c es una vista en perspectiva de una celda de electrólisis.

25 El signo de referencia 1 indica un cátodo, que puede estar compuesto, por ejemplo, de grafito, antracita o de una mezcla de ellos. Alternativamente, se pueden emplear unos cátodos grafitizados a partir de coque. El cátodo 1 se incorpora normalmente en el interior de una estructura 2 de tipo acero o de tipo refractario. El cátodo 1 puede ser una sola pieza o, de forma alternativa, puede estar compuesto de una pluralidad de bloques de cátodo individuales.

30 A lo largo de la longitud de la celda, se introduce una pluralidad de colectores de corriente 3 en el cátodo 1, la figura 1a muestra únicamente un solo colector de corriente 3. En la figura 1c, se hace visible que para cada bloque de cátodo se pueden proporcionar, por ejemplo, dos colectores de corriente. La finalidad de los colectores de corriente es el suministro a la celda de la corriente necesaria para el proceso de electrólisis. Enfrente del cátodo 1 se disponen varios ánodos 4, normalmente prismáticos, la figura 1a ilustra esquemáticamente dos ánodos 4. La figura 1c muestra la disposición de los ánodos en una celda de electrólisis con mayor detalle. Durante la electrólisis, por medio de la aplicación de una tensión entre el cátodo 1 y los ánodos 4, la alúmina que está disuelta en la criolita se disocia en iones aluminio e iones oxígeno. Los iones aluminio se desplazan hacia el aluminio fundido – el cual, desde un punto de vista electroquímico, es el cátodo real – para capturar electrones. Debido a su mayor densidad, el aluminio 5 se enriquece por debajo de la mezcla fundida 6 de alúmina y criolita en fase líquida. Los iones oxígeno se reducen a oxígeno en el ánodo, reaccionando el oxígeno con el carbono de los ánodos. El número de referencia 6a indica la costra de la solidificación de la mezcla fundida 6 y, si esta costra está en los lados de la celda se le denomina reborde lateral.

40 Los números de referencia 7 y 8 indican los polos negativo y positivo, esquemáticamente ilustrados, de una fuente de alimentación para el suministro de la tensión necesaria para el proceso de electrólisis, oscilando el valor de los mismos entre 3,5 y 5 V por ejemplo. Tal y como se muestra en la vista lateral de la figura 1b, la estructura 2, y por lo tanto el conjunto de la celda de electrólisis, presenta una forma alargada, estando introducidos una pluralidad de colectores de corriente 3 perpendicularmente a través de las paredes laterales de la estructura 2. Normalmente, la extensión longitudinal de las celdas actualmente en servicio es de entre 8 y 15 m, siendo la extensión lateral de aproximadamente 3 a 5 m. Un cátodo como el mostrado en la figura 1a se describe, por ejemplo, en el documento de patente europea EP 1845174.

50 Una desventaja del proceso de Hall-Héroult es la elevada demanda de energía. Para producir 1 kg de aluminio se necesitan de 12 a 15 kWh, lo cual constituye hasta el 40 % de los costes de producción. Para disminuir los costes de producción, se desea reducir el consumo de potencia específica tanto como sea posible.

55 Un parámetro, que es esencial para la eficiencia energética, es la distancia entre las superficies de los ánodos y el aluminio líquido dentro de la celda de electrólisis. El ánodo, o los ánodos, respectivamente, requieren estar situados a una distancia de la superficie del aluminio que sea suficiente para evitar un cortocircuito entre los ánodos y los bloques de cátodo a través del aluminio. En teoría, los ánodos se pueden desplazar hasta una posición muy próxima hacia la superficie del aluminio líquido, si la superficie del aluminio es lisa. Sin embargo, debido a las elevadas corrientes que se introducen en el cátodo durante la electrólisis, se generan campos electromagnéticos, los cuales, debido a su interacción, inducen un movimiento de flujo y ondulación en el aluminio líquido. Estos movimientos de

ondulación dan lugar, localmente, a un mayor desgaste del cátodo, acortando de esta forma la vida útil del conjunto de la celda de electrólisis. Este desgaste mecánico tiene lugar debido al aluminio fundido, el electrolito y las partículas de alúmina presentes en la mezcla caliente que desgasta el fondo de la celda, el cual es la parte superior del cátodo. Además, el cátodo se desgasta debido a procesos electroquímicos que tienen lugar en presencia de una elevada densidad de corriente eléctrica. En particular, el cátodo se corroe debido a la reacción del carbono del cátodo a carburo de aluminio. Normalmente, se genera un típico perfil de desgaste “con forma de W” debido al desgaste no homogéneo. Un desgaste de este tipo reduce la eficiencia energética de la celda, dado que aumenta la distancia entre el aluminio líquido y el ánodo.

En la actualidad, el perfil de desgaste se determina durante una denominada “autopsia” después de que la celda deje de funcionar al final de la vida útil de la celda. Para la realización de predicciones sobre la vida útil de una celda de electrólisis, no obstante, es deseable tener información acerca del estado actual de la celda en términos de su perfil de desgaste mientras la celda de electrólisis está en servicio.

Se han realizado varios intentos de determinar las posiciones de la superficie del cátodo, y de esta forma de determinar el perfil de desgaste en la celda en funcionamiento, es decir, con una mezcla líquida de aluminio y criolita por encima del cátodo. Los métodos de medición comunes que se utilizan normalmente en líquidos, tales como los métodos de eco y sombra con la ayuda de ondas ultrasónicas, no se pueden emplear debido a la impermeabilidad del aluminio líquido al ultrasonido. Además, no es posible contactar la superficie del cátodo con un dispositivo de medición debido a las elevadas temperaturas de la masa fundida de aproximadamente 1.000 °C.

Por ejemplo, el documento de patente de Alemania DE 102 45 320 C1 describe un método de escala laboratorio para la medición de volúmenes de carbono químicamente corroído en cátodos de carbono.

Por tanto, se han utilizado métodos mecánicos al objeto de estimar el perfil de desgaste del cátodo. Con este fin, se retiran bloques de ánodo y la superficie del cátodo se toca directamente por medio de una varilla que se sumerge en la masa fundida. A partir de la longitud de la varilla que se proyecta por encima del nivel de la masa fundida, se estima el desgaste del cátodo. La desventaja de este enfoque es que la profundidad estimada tiene poca precisión y que la posición de la varilla en el plano de la celda no queda determinada, sino que únicamente se estima. No es posible determinar un perfil de desgaste exacto, sino meramente unos valores de profundidad máximo y mínimo sin su distribución exacta.

Por lo tanto, es un objeto de la invención superar estas desventajas mencionadas con anterioridad y proporcionar un método rápido y preciso para la determinación local del perfil de superficie en celdas de electrólisis, y de esta forma del perfil de desgaste exacto, y para la determinación local del perfil de superficie del reborde lateral, o de los rebordes laterales, de celdas de electrólisis, y proporcionar un aparato para la puesta en práctica de este método.

Se ha de entender que el término “perfil de superficie” comprende el perfil de superficie de cátodos, el perfil de superficie de paredes laterales y el perfil de superficie de rebordes laterales.

Según la presente invención, este objeto se consigue por medio de un aparato para determinar perfiles de superficie, en particular el perfil de desgaste del cátodo y el perfil del reborde lateral, o de los rebordes laterales, de una celda de electrólisis de aluminio, que está llena de una masa fundida de aluminio y que tiene rebordes laterales, que comprende un sistema de determinación de la posición con un miembro de sistema móvil y un miembro de sistema fijo, y una lanza con una punta de lanza resistente al calor para su inmersión en la masa fundida hasta la superficie del cátodo o del reborde lateral de la celda, estando fijado el miembro móvil a la lanza y estando adaptado el miembro fijo para la determinación de una posición de la punta de lanza por medio de la determinación de una posición del miembro móvil.

El aparato según la invención hace posible, por primera vez, la obtención de mediciones precisas de la superficie del cátodo y de la posición de un reborde lateral de una celda de electrólisis que está en servicio. Al separar la posición a la que realmente se realiza la medición, es decir, la posición del miembro móvil, y el punto cuya posición se determina, se hace posible el empleo de un equipo sensible a la temperatura. Las temperaturas elevadas de aproximadamente 1.000 °C no afectan a la medición, dado que el miembro móvil y el miembro fijo están situados a una distancia de la masa fundida. Además, con el aparato son posibles unas mediciones muy rápidas. Esto es ventajoso si el bloque de ánodo tiene que ser retirado para llevar a cabo las mediciones en la celda. Las mediciones de alta velocidad hacen posible que el equilibrio térmico en la celda de electrólisis no se vea afectado.

Preferiblemente, la punta de lanza comprende, o al menos está hecha fundamentalmente, de un material que puede soportar temperaturas más elevadas que un eje de la lanza, o al menos las mismas temperaturas que el eje. Esto es ventajoso, dado que la propia punta de lanza se sumerge en la masa fundida o en el reborde lateral, mientras que el eje se mantiene por encima de la masa fundida o del reborde lateral durante las mediciones de la celda. Por lo tanto, el eje no necesita ser construido de un material de una calidad tan alta en términos de temperatura y resistencia a la corrosión y, en consecuencia, se puede elegir para el eje un material que sea menos caro.

Según una realización particularmente preferida, la punta de lanza comprende, o al menos está hecha fundamentalmente, de acero, particularmente acero inoxidable, o de un material a base de grafito. Se ha observado

que la masa fundida, especialmente la criolita, es químicamente muy agresiva contra muchos materiales. Especialmente el acero que es inoxidable puede soportar este entorno con facilidad. Lo mismo aplica para el material a base de grafito. Otros materiales preferidos para la punta de lanza son aleaciones de titanio y cerámicas, tales como cerámicas de óxido o de nitruro.

- 5 Preferiblemente, el eje de la lanza comprende, o al menos está hecho fundamentalmente, de acero, particularmente de acero inoxidable. Aunque el eje no está en contacto directo con la masa fundida o con el reborde lateral, se sitúa en posición adyacente a la masa fundida o al reborde lateral, de manera que es ventajoso que también sea resistente a la mezcla caliente. Además, el acero tiene una rigidez relativamente elevada que aumenta la precisión de la medición. De forma alternativa, también el eje se construye de un material a base de grafito y/o de material reforzado con fibra de carbono.

El material a base de grafito puede comprender ventajosamente al menos un material del grupo que comprende carbono, grafito o semi-grafito. El material reforzado con fibra de carbono puede comprender ventajosamente al menos un material del grupo que comprende cerámica reforzada con fibra de carbono o carbono reforzado con fibra de carbono.

- 15 Según una realización preferida de la presente invención, la punta de lanza comprende un extremo redondeado. Un extremo redondeado tiene la ventaja de una forma redonda que no daña la superficie del cátodo cuando se lleva a cabo la medición. El extremo redondeado puede ser una parte independiente que se fija a la punta de lanza. La fijación se puede llevar a cabo por medio de soldadura. De forma alternativa, el extremo redondeado puede ser un extremo integral con forma redonda de la propia punta de lanza.
- 20 Según una realización preferida de la invención, el eje y la punta de lanza se unen por medio de uniones reversibles, tales como roscados. Alternativamente, las uniones pueden ser uniones irreversibles, tales como uniones por soldadura.

- Según una realización preferida de la invención, la longitud de la punta de lanza es al menos de igual valor que la profundidad de la masa fundida situada por encima del cátodo o que la profundidad del reborde lateral, cuya superficie se ha de medir. La longitud es preferiblemente de al menos 50 cm, y más preferiblemente de al menos 70 cm, de la forma más preferida de entre 80 y 100 cm.

- Según otra realización preferida, el eje y/o la punta de lanza comprenden un tubo. Un tubo tiene aproximadamente la misma rigidez que un material macizo, pero es más ligero, de manera que el manejo del aparato para la medición es más sencillo. Además, un tubo acumula y conduce menos calor que un material macizo, lo cual puede contribuir también a que el manejo sea más sencillo a temperaturas elevadas.

- Según otra realización particularmente preferida, el miembro móvil se fija de forma reversible a la lanza. Esto permite un cambio rápido de la lanza en caso de que el eje y/o la lanza se vean dañados y necesiten ser sustituidos.

- Además, se prefiere que el sistema de determinación de la posición esté adaptado para determinar la posición de la punta de lanza y/o del extremo redondeado por medio de la determinación de las posiciones de unos puntos de referencia del miembro móvil y por el cálculo de la posición de la punta de lanza y/o del extremo redondeado a partir de las posiciones de los puntos de referencia. Con un sistema de este tipo es posible que el propio miembro móvil únicamente proporcione los puntos de referencia, sin llevar consigo el equipo para la medición. Por lo tanto, se hace posible que el miembro móvil sea muy robusto e insensible frente al calor y la corrosión de la mezcla caliente de la celda de electrólisis de aluminio. Además, un sistema de determinación de la posición de este tipo evita los problemas que normalmente ocurren con los equipos de medición sensibles situados por encima o en posición próxima a los fuertes campos electromagnéticos generados por las altas corrientes que circulan hacia y a través del cátodo. Al separar el miembro fijo que está situado a una distancia de la celda de las posiciones de los puntos de referencia del miembro móvil que está situado por encima del cátodo, se pueden evitar según la invención los problemas que surgen debido a los campos electromagnéticos.

- 45 Según otra realización preferida más, el miembro fijo y el miembro móvil están adaptados para determinar la posición de los puntos de referencia con la ayuda de unos medios ópticos. Esto puede significar, por ejemplo, que los propios puntos de referencia sean fuentes de luz que emiten luz que se puede medir por partes del miembro fijo, tales como cámaras y otros medios sensibles a la luz. Las señales recibidas se pueden analizar por medio de un dispositivo de cálculo que determina las posiciones de los puntos de referencia. Como alternativa, los puntos de referencia pueden ser espejos que reflejen la luz emitida por una fuente de luz adicional.

Por ejemplo, en las patentes europeas EP 0829701 B1, EP 0700506 B1 y EP 0880674 B1 se describen unos procedimientos exactos para la determinación de las posiciones de unos puntos de referencia de un miembro móvil de un sistema de determinación de la posición con la ayuda de un miembro fijo, estando incorporados sus contenidos relacionados con estos procedimientos en la presente memoria por referencia.

Todos los tipos de luz son apropiados para la presente aplicación. En una realización preferida, se emite luz infrarroja por medio de unos diodos emisores de luz infrarroja situados en el miembro móvil como puntos de referencia.

5 La determinación de la posición con la ayuda de medios ópticos tiene la ventaja de que no se necesita ninguna parte en movimiento para el sistema de determinación de la posición. Por tanto, el sistema de determinación de la posición no es propenso a desgaste o fallo mecánico.

10 Dado que el cálculo se lleva a cabo en el miembro fijo, el miembro móvil, que está en una posición más próxima a la masa fundida caliente, se puede diseñar de forma muy sencilla y, por lo tanto, muy robusto. Básicamente, el miembro móvil se puede construir con un cuerpo y los puntos de referencia. El cuerpo puede estar hecho a base de aluminio, por ejemplo, que es de peso ligero y tiene una rigidez suficiente. Al estar dispuesto el miembro móvil en el extremo de la lanza situado en posición alejada de la punta de lanza y, por lo tanto, alejado de la masa fundida caliente durante la medición, la temperatura que actúa sobre el miembro móvil es relativamente baja, de tal manera que el aluminio no se funde.

15 Además, el objeto de la invención se obtiene por medio de un método para determinar perfiles de superficie, en particular el perfil de desgaste del cátodo y el perfil del reborde lateral, o de los rebordes laterales, de una celda de electrólisis de aluminio por medio del empleo de un aparato según la invención, la inmersión de la punta de lanza del aparato en la masa fundida de aluminio hasta la superficie del cátodo o del reborde lateral de la celda, y la determinación de la posición de la punta como la altura del cátodo o del reborde lateral en esta posición en la celda.

20 Según una realización preferida de la invención, se retira un bloque de ánodo que cubre un segmento de la celda que se ha de medir antes de la inmersión de la punta de lanza en el interior de la celda. La ventaja es que la celda continúa funcionando con tan solo un bloque de ánodo retirado. La celda no tiene que ser parada para las mediciones del perfil de desgaste.

Preferiblemente, se retiran varios bloques de ánodo y se miden los respectivos segmentos con el método según la invención. Esto proporciona la posibilidad de obtener un perfil de desgaste de zonas más grandes de la celda.

25 Según un método particularmente preferido, se determina un perfil de desgaste del cátodo por medio de la provisión de las mediciones de los segmentos individuales para un perfil de celda total.

Según otra realización preferida, sólo se miden algunos segmentos de la celda, y el perfil de la celda total se calcula por medio de la estimación / extrapolación a los segmentos residuales.

30 Según una realización particularmente preferida, se mide la mitad de los segmentos de la celda o un cuarto de los segmentos de la celda. Debido a la alta simetría de la celda de electrólisis de aluminio convencional, se puede transferir con facilidad un cuarto o la mitad del perfil de desgaste de una celda a un perfil de desgaste completo estimado.

35 Expresamente, la presente invención cubre también el caso en el que la celda de electrólisis de aluminio no está llena de una masa fundida de aluminio. En este caso, se puede llegar al cátodo sin la inmersión en una masa fundida o en una mezcla caliente. Con este fin, o bien una lanza se fija al miembro móvil tal y como se ha descrito con anterioridad, o bien el miembro móvil se utiliza sin lanza. En el último caso, una pata del miembro móvil cumple la misma función que la lanza. Todas las otras características del aparato y del método según la invención mencionadas en la descripción, las reivindicaciones y las figuras se pueden aplicar a esta alternativa. En general, la invención se refiere a un aparato para determinar los perfiles de superficie, en particular el perfil de desgaste del cátodo o el perfil del reborde lateral, o de los rebordes laterales, de una celda de electrólisis de aluminio que comprende un sistema de determinación de la posición con un miembro de sistema móvil y un miembro de sistema fijo, y una lanza con una punta de lanza para hacer contacto con el cátodo o con la pared lateral o con el reborde lateral de la celda, estando fijado el miembro móvil a la lanza y estando adaptado el miembro fijo para la determinación de una posición de la punta de lanza por medio de la determinación de una posición del miembro móvil, siendo la lanza una pata del miembro móvil o una lanza adicional.

45

Además, la invención se refiere en general a un método para determinar los perfiles de superficie, en particular el perfil de desgaste del cátodo o el perfil del reborde lateral, o de los rebordes laterales, de una celda de electrólisis de aluminio por medio del empleo de un aparato como el mencionado con anterioridad que toca el cátodo o la pared lateral o el reborde lateral con la punta de lanza del aparato, y la determinación de la posición de la punta de lanza como la altura del cátodo o de la pared lateral o del reborde lateral en esta posición en la celda.

50

A continuación, se describirá la presente invención con más detalle por medio de un ejemplo no limitativo con la ayuda de las figuras 1a a 3, mostrando las figuras

Figura 1a: una sección transversal de una celda de electrólisis de aluminio de la técnica anterior.

Figura 1b: la celda según la figura 1a en una sección longitudinal.

Figura 1c: una vista en perspectiva de una celda de electrólisis de aluminio.

Figura 2: un dibujo esquemático del aparato según la invención.

Figura 3: una celda de la técnica anterior según la figura 1c, en la que se retira un bloque de ánodo y se sumerge en la celda un aparato según la invención.

5 Las figuras 1a a 1c representan una celda de electrólisis de aluminio, tal y como ya se ha descrito con anterioridad.

Para determinar el desgaste del cátodo en una celda de la técnica anterior de este tipo, se emplea un aparato según la invención. El aparato 10 comprende un miembro de sistema móvil 11 con forma de lápiz óptico, tal y como se muestra en la figura 2. El lápiz óptico 11 comprende una serie de diodos emisores de luz 12 que emiten luz 13, la cual puede ser detectada por un miembro fijo 14 del sistema de determinación de la posición. El lápiz óptico 11 está fijado a un tubo de acero inoxidable 15 que es un eje de la lanza 16, por medio de su sujeción al tubo 15 con unas cintas de acero 17. La sujeción se lleva a cabo con la ayuda de unos tornillos que cierran los manguitos de acero 17 en los que se inserta el lápiz óptico 11. En la figura 2, únicamente se indican los manguitos 17 como medios de sujeción.

En el extremo 18 de la lanza 16 que está alejado del lápiz óptico 11, está dispuesta una punta de lanza 19 en la lanza 16. La punta de lanza 19 tiene un extremo redondeado 20 soldado a la misma. En esta realización, tanto el eje 15 como la punta de lanza 19, así como el extremo redondeado 20, están hechos de acero inoxidable. En este ejemplo, se utiliza el tipo AISI 52100 como acero inoxidable. Presenta una resistencia mucho mayor frente a la criolita agresiva de la masa fundida de la celda de electrólisis de aluminio que la que presenta el acero convencional. De forma alternativa, el eje 15, que no necesita soportar unas temperaturas tan elevadas como las que soportan la punta de lanza 19 y el extremo redondeado 20, se puede construir de un material reforzado con fibra tal como de un polímero reforzado con fibra de carbono. Además, el eje 15, y de forma particularmente preferida la punta de lanza 19, así como el extremo redondeado 20, se pueden construir de carbono reforzado con fibra de carbono o de cerámica reforzada con fibra de carbono. Estos materiales combinan un peso ligero y resistencia a elevadas temperaturas.

25 La longitud total de la lanza 16 en este ejemplo es de 2,3 metros, teniendo la punta de lanza 19 una longitud de aproximadamente 1 metro. El eje 15 es un tubo de 20 mm de diámetro exterior y la punta de lanza 19 tiene un diámetro de 20 mm también.

Antes de comenzar la medición, se calibra el sistema de determinación de la posición. Con este fin, se sitúa el extremo redondeado 20 de la punta de lanza 19 en una determinada posición de calibración junto a la celda de electrólisis. Los diodos emisores de luz infrarroja, como puntos de referencia 12 del lápiz óptico como miembro móvil 11 del sistema de determinación de la posición, emiten luz 13. Esta luz 13 queda registrada por medio de una o más cámaras como parte del miembro fijo 14 del sistema de determinación de la posición, y se pasa a un miembro de cálculo del miembro fijo (no mostrado). Este procedimiento se repite, estando colocada la lanza 16 según diferentes ángulos, aunque con el extremo redondeado siempre en la misma posición. De esta forma, el sistema de determinación de la posición reconoce la longitud de la lanza 16 y se calibra al objeto de determinar la posición del extremo redondeado 20 sólo a partir del conocimiento de la posición de los puntos de referencia 12.

Posteriormente, se saca un bloque de ánodo 4 de la celda y se descubre la masa fundida 5, 6, 6a en ese segmento 21. La punta de lanza 19 se sumerge en la masa fundida 5, 6, 6a hasta que el extremo redondeado 20 queda detenido por la superficie del cátodo 1. Por medio de la determinación de la posición de los puntos de referencia 12 del lápiz óptico 11 por el miembro fijo 14, se determina la posición tridimensional del extremo redondeado 20. La posición del extremo redondeado 20 corresponde a la altura del cátodo en relación con su posición dentro del plano del cátodo 1.

Según este método, se determina una pluralidad de puntos en el segmento 21 descubierto por la retirada del bloque de ánodo 4. En este ejemplo, el bloque de ánodo 4 se retira debido a su oxidación regular, lo cual tiene lugar bajo condiciones normales de operación de la celda, pero la celda continúa funcionando. Después de aproximadamente 10 a 30 minutos, se dispone un nuevo bloque de ánodo 4 en el segmento 21 del bloque de ánodo 4 retirado debido a razones de energía y eficiencia. Este nuevo bloque de ánodo concreto durará otras tres semanas, antes de que nuevamente sea sustituido por un nuevo bloque de ánodo. Un día después de la retirada del primer bloque de ánodo 4 y de la medición del desgaste del cátodo en el correspondiente segmento 21, se retira otro bloque de ánodo 4 corroído de forma regular, y se sustituye por uno nuevo. De nuevo, utilizando esta oportunidad en la que la masa fundida queda descubierta en el segmento 21 del bloque de ánodo 4 retirado, se mide la superficie del cátodo en este segmento 21, tal y como se ha descrito con anterioridad.

De esta forma, en el transcurso de tres semanas, una celda de electrólisis de aluminio convencional que tiene 20 bloques de ánodo 4, se mide toda la superficie de cátodo de la celda. Por lo tanto, durante el trabajo de sustitución normal de la celda, se puede determinar fácilmente y de forma precisa el perfil de desgaste 22 completo (tal como se sugiere en la figura 1a en sección transversal) de la celda, sin hacer que la celda deje de funcionar. Para una determinación aún más rápida durante el funcionamiento normal de la celda, sólo se retira la mitad de los bloques de

ánodo y, en consecuencia, se determina la mitad del perfil de desgaste, determinando el perfil de desgaste 22 de toda la celda por medio de la extrapolación de las mediciones a los segmentos 21 que todavía no se hayan medido.

- 5 De forma alternativa, se retiran todos los bloques de ánodo 4 en un conjunto de mediciones al objeto de obtener un perfil de desgaste 22 de forma inmediata. Esto se realiza especialmente en una variación de la invención en la que la celda se para y se retira toda la masa fundida, incluyendo el aluminio y el electrolito. En este estado, con la celda enfriándose, ya no es necesario fijar el lápiz óptico a una lanza, aunque se puede utilizar un extremo del lápiz óptico como el extremo que se considera el correspondiente punto medido de la superficie del cátodo.

**REIVINDICACIONES**

1. Aparato (10) para determinar perfiles de superficie, en particular el perfil de desgaste (22) del cátodo y el perfil del reborde lateral, o de los rebordes laterales, de una celda de electrólisis de aluminio, que está llena de una masa fundida de aluminio (5) y que tiene reborde(s) lateral(es) (6a), que comprende
  - 5 - un sistema de determinación de la posición con un miembro de sistema móvil (11) y un miembro de sistema fijo (14) y
    - una lanza (16) con una punta de lanza (19) resistente al calor para su inmersión en la masa fundida (5) o en el reborde lateral (6a) de la celda,
  - 10 estando fijado el miembro móvil (11) a la lanza (16) y estando adaptado el miembro fijo (14) para la determinación de una posición de la punta de lanza (19) por medio de la determinación de una posición del miembro móvil (11).
2. Aparato según la reivindicación 1, caracterizado por que la punta de lanza (19) comprende, o al menos está hecha fundamentalmente, de un material que puede soportar temperaturas más elevadas que un eje (15) de la lanza (16), o al menos las mismas temperaturas que el eje (15).
3. Aparato según al menos una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el eje (15)
  - 15 comprende, o al menos está hecho fundamentalmente, de acero, preferiblemente acero inoxidable, de material a base de grafito o de material reforzado con fibra de carbono.
4. Aparato según al menos una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que la punta de lanza (19) comprende, o al menos está hecha fundamentalmente, de acero, preferiblemente acero inoxidable, o de un producto a base de grafito.
5. Aparato según la reivindicación 4, caracterizado por que el producto a base de grafito comprende al menos
  - 20 un material del grupo que comprende carbono, grafito, semi-grafito, cerámica reforzada con fibra de carbono o carbono reforzado con fibra de carbono.
6. Aparato según al menos una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que la punta de lanza (19) comprende un extremo redondeado (20).
7. Aparato según al menos una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el eje (15) y/o la
  - 25 punta de lanza (19) comprende un tubo.
8. Aparato según al menos una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el miembro móvil (11) está fijado de forma reversible a la lanza (16).
9. Aparato según al menos una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el sistema de
  - 30 determinación de la posición está adaptado para determinar la posición de la punta de lanza (19) y/o del extremo redondeado (20) por medio de la determinación de las posiciones de unos puntos de referencia (12) del miembro móvil (11) y por el cálculo de la posición de la punta de lanza (19) y/o del extremo redondeado (20) a partir de las posiciones de los puntos de referencia (12).
10. Aparato según al menos una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el miembro fijo (14)
  - 35 y el miembro móvil (11) están adaptados para determinar la posición de los puntos de referencia (12) con la ayuda de unos medios ópticos.
11. Método para determinar perfiles de superficie, en particular el perfil de desgaste (22) del cátodo y el perfil del reborde lateral, o de los rebordes laterales, de una celda de electrólisis de aluminio por medio del empleo de un
  - 40 aparato (10) según cualquiera de las reivindicaciones 1 – 10, la inmersión de la punta de lanza (19) del aparato (1) en la masa fundida (5) de aluminio o en el reborde lateral (6a) de la celda, o rebordes laterales (6a) de la celda, y la determinación de la posición de la punta de lanza (19) como la altura del cátodo (1) o la altura del reborde lateral (6a) en esta posición en la celda.
12. Método según la reivindicación 11, caracterizado por la retirada de un bloque de ánodo (4) que cubre un
  - 45 segmento (21) de la celda que se ha de medir antes de la inmersión de la punta de lanza (19) en el interior de la celda.
13. Método según la reivindicación 12, caracterizado por la retirada de varios bloques de ánodo (4) y la medición de los respectivos segmentos (21).
14. Método según la reivindicación 13, caracterizado por la determinación de un perfil de desgaste (22) del
  - 50 cátodo por medio de la provisión de las mediciones de los segmentos (21) individuales para un perfil (22) de celda total.



15. Método según la reivindicación 13 o 14, caracterizado por que sólo se miden algunos segmentos (21) de la celda, y el perfil (22) de la celda total se determina por medio de la extrapolación a los segmentos (21) residuales.

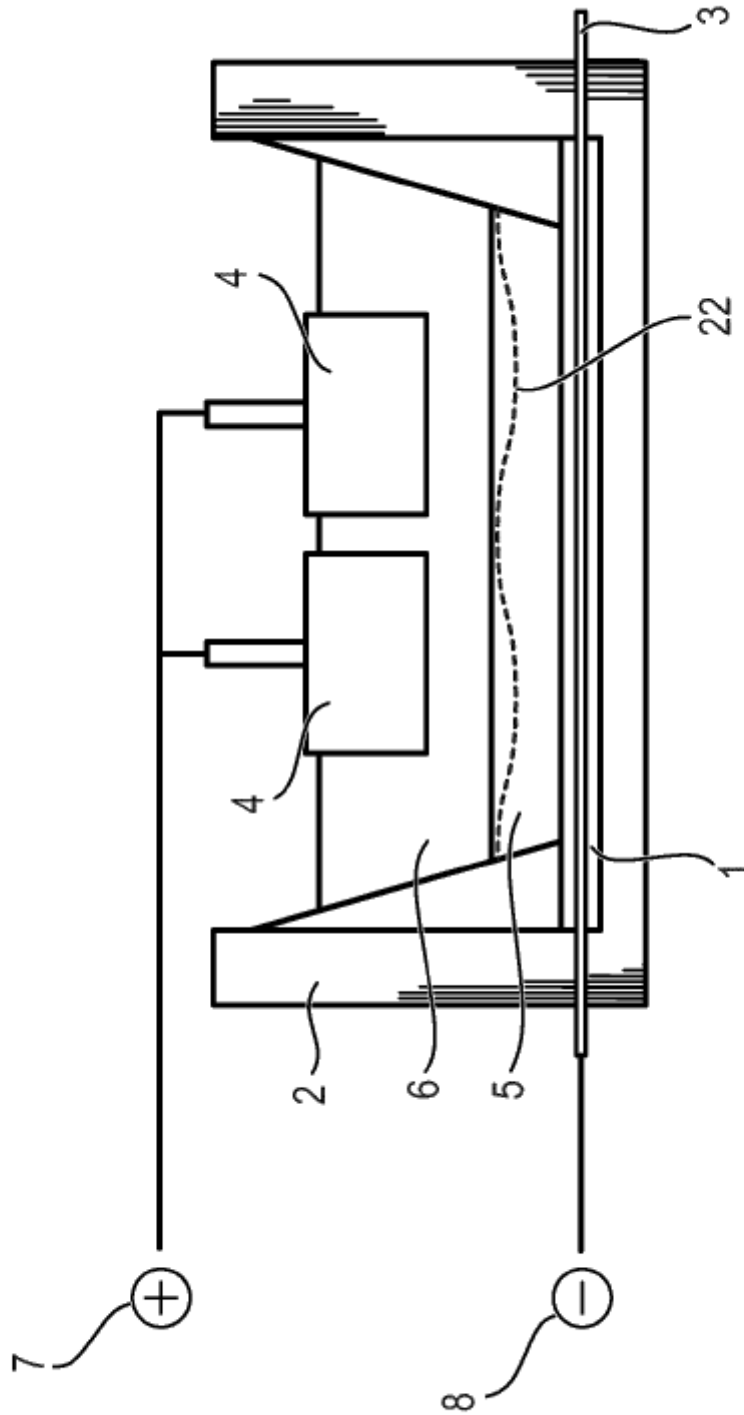
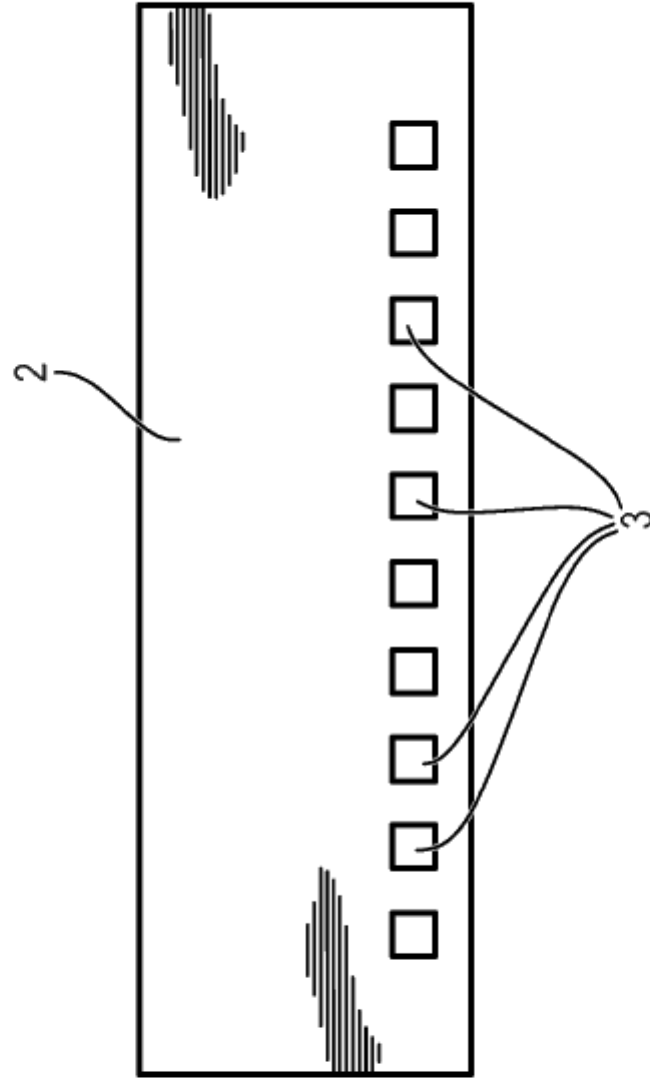


FIG. 1a



**FIG. 1b**

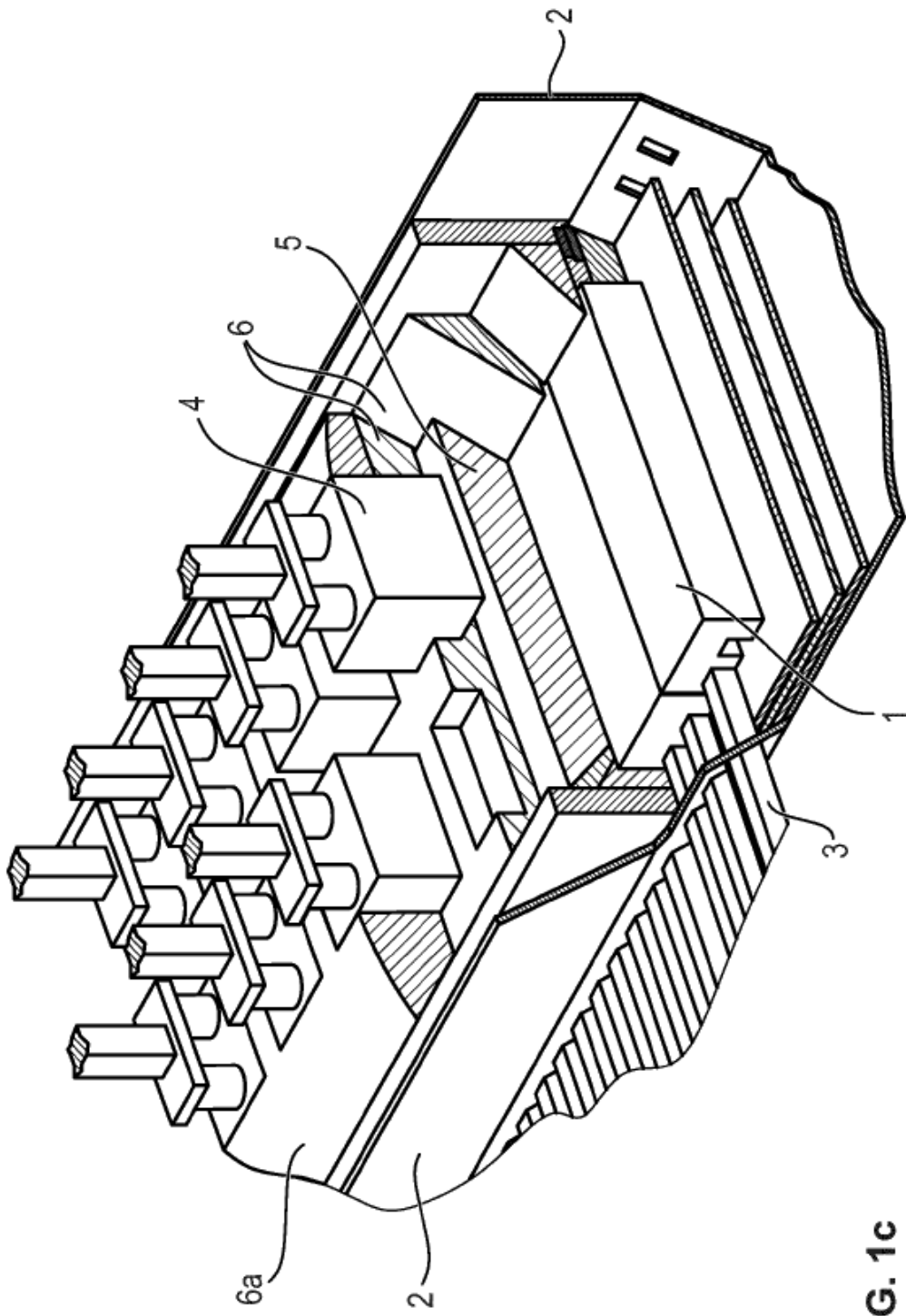


FIG. 1c

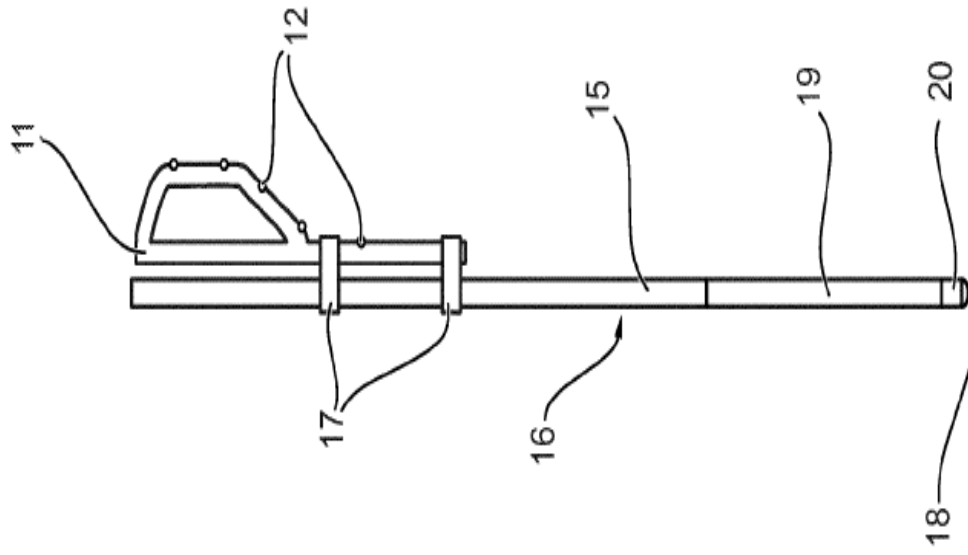


FIG. 2

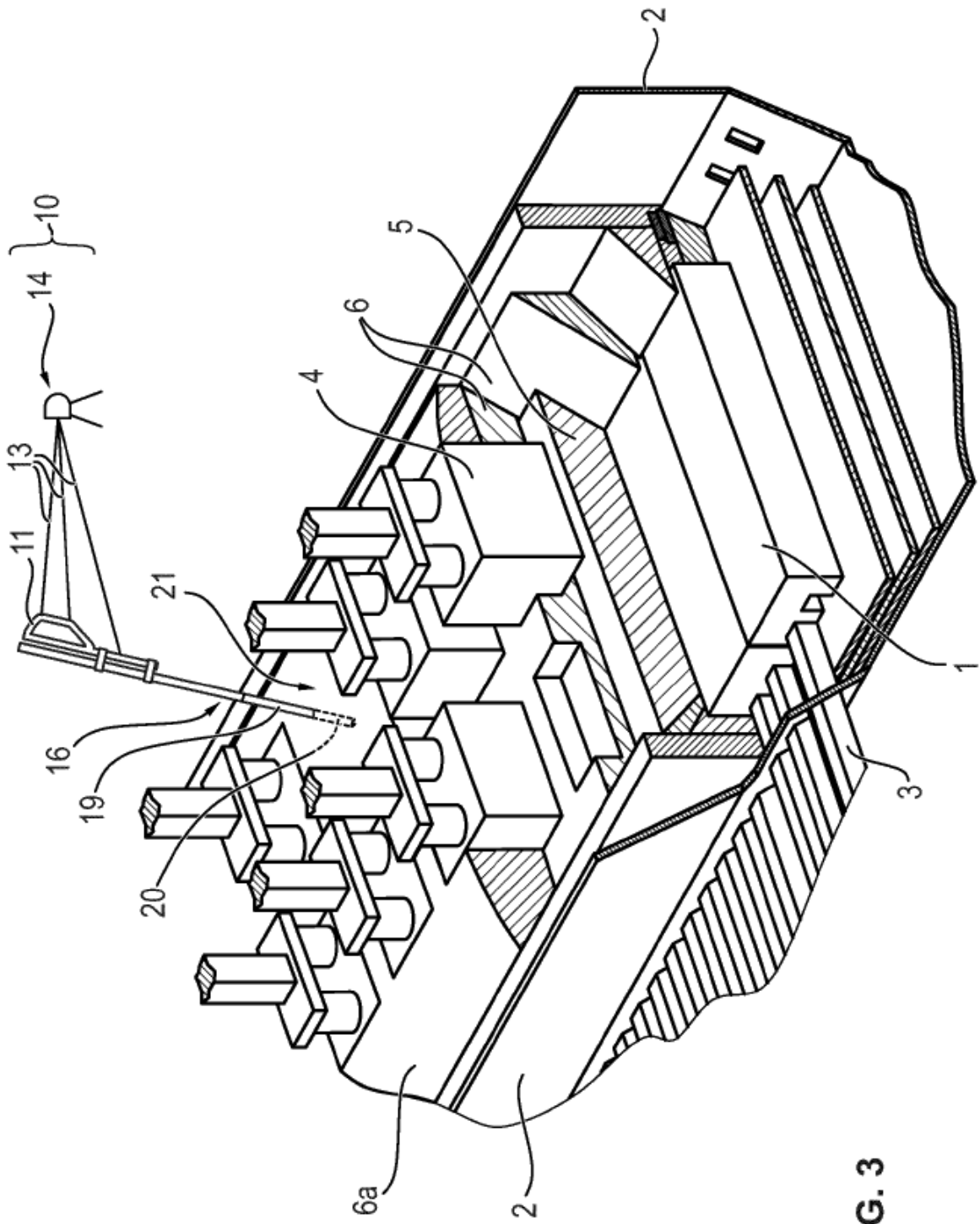


FIG. 3