

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 375 057**

51 Int. Cl.:

C25C 3/06 (2006.01)

C25C 3/08 (2006.01)

C25C 7/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **04744771 .9**

96 Fecha de presentación: **10.08.2004**

97 Número de publicación de la solicitud: **1654401**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **10.05.2006**

54 Título: **CÉLULA DE EXTRACCIÓN ELECTROLÍTICA DE METALES CON PRIFICADOR DE ELECTROLITO.**

30 Prioridad:
14.08.2003 WO PCT/IB03/03651

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
24.02.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
24.02.2012

73 Titular/es:
**Rio Tinto Alcan International Limited
1188, Sherbrooke Street West
Montreal, QC H3A 3G2, CA**

72 Inventor/es:
**NGUYEN, Thinh, T.;
SCHNYDER, Frank y
DE NORA, Vittorio**

74 Agente: **Mir Plaja, Mireia**

ES 2 375 057 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

Célula de extracción electrolítica de metales con purificador de electrolito

5 Campo de la invención

La invención se refiere a una célula para la extracción electrolítica de un metal, en particular aluminio a partir de alúmina disuelta en un electrolito fundido. La invención se refiere en particular a la producción mediante electrolisis de aluminio que tiene un alto nivel de pureza.

10

Antecedentes de la invención

La extracción electrolítica de un metal a partir de un compuesto del mismo disuelto en un electrolito viene seguida habitualmente por un proceso de purificación del metal producido. Para minimizar el posterior proceso de purificación, el metal se somete a extracción electrolítica ventajosamente en un entorno que no contiene o que contiene pocos elementos (o especies de los mismos) que es probable que contaminen el metal producido. En la extracción electrolítica de metales comerciales, la contaminación del metal producido se minimiza evitando la introducción de elementos contaminantes en el electrolito, en particular controlando la pureza de la materia prima que se usa.

15

20

En el campo de la extracción electrolítica de aluminio, la contaminación del aluminio producido se debe a las impurezas presentes en la materia prima, habitualmente alúmina que contiene una pequeña cantidad de óxido de hierro, y a elementos encontrados en la estructura de la célula de extracción electrolítica de aluminio que se disuelven, durante el funcionamiento, en el electrolito, por ejemplo azufre o níquel que se encuentran en ánodos de carbono.

25

Con el desarrollo de ánodos de extracción electrolítica de aluminio no de carbono y el funcionamiento de células sin costra ni reborde, la posibilidad de contaminar el aluminio producido con elementos de la estructura de la célula ha aumentado de forma significativa.

30

Se conoce la producción de aluminio con un bajo nivel de contaminación purificando el aluminio producido después de la extracción electrolítica, por ejemplo desgasificando el aluminio fundido fuera de la célula de extracción electrolítica de aluminio como se describe en la Patente de Estados Unidos N° 4.668.351 (Dewing/Reesor), así como en los documentos WO00/63630 (Holz/Duruz), WO01/42168 (de Nora/ Duruz), WO01/42531 (Nguyen/Duruz/de Nora), WO02/096830 (Duruz/Nguyen/de Nora) y WO02/096831 (Nguyen/de Nora).

35

Existe un gran incentivo para el uso de ánodos no de carbono para mejorar el proceso de producción de aluminio reduciendo la polución y el coste de la producción de aluminio. Se han realizado muchas propuestas para sustituir los ánodos de carbono que se siguen utilizando habitualmente en la industria por ánodos no de carbono.

40

Los materiales que tienen la mayor resistencia a la oxidación son óxidos metálicos que son todos, en alguna medida, solubles en criolita. Los óxidos son también malos conductores de la electricidad, por lo tanto, para evitar pérdidas óhmicas sustanciales y altas tensiones en la célula, el uso de óxidos debe ser mínimo en la fabricación de ánodos. Cuando sea posible, debe utilizarse un material buen conductor para el núcleo del ánodo, mientras que la superficie del ánodo está hecha preferentemente de un óxido que tiene una alta actividad electrocatalítica.

45

Sólo recientemente se ha vuelto posible producir ánodos a base de metal que pueden resistir el entorno de la célula durante varios cientos de horas y aún más tiempo y que son lo suficientemente conductores de la electricidad para permitir el uso comercial. Estos recientes desarrollos, en particular ánodos hechos de un núcleo de ánodo de metal conductor de la electricidad con una parte externa activa a base de óxido, se han descrito en varias patentes, tales como, las Patentes de Estados Unidos N° 6.077.415 (Duruz/de Nora), 6.103.090 (de Nora), 6.113.758, 6.248.227, 6.361.681 (todas de de Nora/Duruz), 6.365.018 (de Nora), 6.379.526 (de Nora/Duruz), 6.521.115 (Duruz/de Nora/Crottaz), 6.562.224 (Crottaz/Duruz) y las solicitudes PCT, WO00/40783, WO01/42534 (ambas de de Nora/Duruz), WO01/42536 (Duruz/Nguyen/de Nora), WO02/070786 (Nguyen/de Nora) y WO02/083990 (de Nora/Nguyen), WO02/083991 (Nguyen/de Nora), WO03/014420 (Nguyen/Duruz/de Nora), WO03/078695 (Nguyen/de Nora), WO03/087435 (Nguyen/de Nora), WO2004/018731 (Nguyen/de Nora), WO2004/024994 (Nguyen/de Nora), WO2004/044268 (Appourchoux/Nguyen/de Nora).

50

55

La sustitución de ánodos de carbono por ánodos a base de metal conduce a la presencia de especies metálicas del ánodo disueltas en el electrolito y reducidas en el aluminio catódico producido. Se ha propuesto impedir la contaminación del aluminio producido con una cantidad inaceptable de dichas especies metálicas accionando la célula en condiciones estrictamente controladas, como se describe en algunas de las anteriores referencias, así como en las Patentes de Estados Unidos N° 6.540.887 (de Nora), 6.521.116 (Duruz/de Nora/Crottaz), 6.572.757 (de Nora/Berclaz), y solicitudes PCT WO00/40781 (de Nora), WO01/31086 (de Nora/Duruz), WO01/42535 (Duruz/de Nora), WO02/097167 (Nguyen/de Nora), WO03/006716 (de Nora), WO03/006717 (Berclaz/Duruz), WO03/023092 (de Nora), y la publicación Estadounidense 2003/0075454 (de Nora/Duruz).

60

65

5 El documento US2004/0020786 (LaCamera et al.) publicado el 5 de febrero de 2004 describe la retirada de azufre del electrolito de una célula de producción de aluminio para aumentar el rendimiento en corriente de la célula. En varias realizaciones, se usa un electrodo de purificación en el electrolito para retirar el azufre. Dicho electrodo está oculto detrás de una pared en una zona libre de oxígeno fuera del chorro principal de electrolito para evitar exposición a oxígeno desprendido de forma anódica. Esta publicación reconoce que las impurezas de hierro son desventajosas para el rendimiento en corriente, particularmente en combinación con azufre, pero solamente describe un método para retirar azufre y no hierro.

10 El documento US 4.670.110 (Withers et al) describe una célula para la extracción electrolítica de aluminio a partir de alúmina disuelta en un electrolito fundido, conteniendo además el electrolito especies de al menos un elemento que es probable que contamine el aluminio producido. Los iones de aluminio son transferidos preferentemente desde una capa bipolar a través de una membrana a un compartimento de refinado para recogerlos en un charco de metal fundido.

15 El documento US 4.214.956 (Bowman) describe un método de separación de forma electrolítica de un metal de impurezas, conteniendo el metal y las impurezas en estado fundido en un recipiente que tiene una membrana porosa permeable por un electrolito fundido. El metal es transferido electrolíticamente a través de la membrana a un cátodo en presencia del electrolito con fines de separar o retirar impurezas del metal.

20 El documento US 4.115.215 (Das et al) describe un proceso para purificar aleaciones de aluminio que comprende proporcionar aluminio fundido en un recipiente permeable al electrolito fundido. El aluminio es transportado electrolíticamente a través de la pared porosa a un cátodo, separando de este modo sustancialmente el aluminio de los constituyentes de la aleación.

25 Como se ha mencionado anteriormente, la alúmina que se usa como materia prima para la extracción electrolítica comercial de aluminio habitualmente contiene aproximadamente 500-1000 ppm de especies de hierro que, durante la extracción electrolítica, se reducen en el cátodo y contaminan el aluminio producido. No es posible limitar la contaminación por hierro que se origina de la alimentación de alúmina mediante los métodos descritos en las referencias mencionadas anteriormente. El electrolito de una célula de extracción electrolítica de aluminio habitualmente contiene pequeñas cantidades de impurezas contaminantes, habitualmente de hasta 500 ppm de hierro y por debajo de 200 ppm de níquel y posiblemente otros elementos, que no deben recogerse en el aluminio sometido a extracción electrolítica. Sigue existiendo una necesidad de reducir la contaminación de aluminio durante la extracción electrolítica.

35 **Resumen de la invención**

Un objeto principal de la invención es aumentar la pureza del metal producido mediante la electrolisis de un electrolito que contiene un compuesto del metal disuelto, en particular la extracción electrolítica de aluminio a partir de alúmina, inhibiendo la reducción en el metal sometido a extracción electrolítica de especies de elementos diferentes del metal a producir, especies que están presentes en el electrolito.

40 La invención se refiere a una célula para la extracción electrolítica de un metal a partir de un compuesto del mismo disuelto en un electrolito de sal fundida, en particular aluminio a partir de alúmina disuelta. Esta célula comprende un ánodo y un cátodo que están en contacto con el electrolito fundido, estando el cátodo durante el uso a un potencial catódico para reducir en él especies del metal a producir a partir del compuesto disuelto. El electrolito contiene además especies de al menos un elemento que es probable que contamine el metal producido y que tienen un potencial de reducción catódico que es menos negativo que el potencial catódico del metal a producir.

45 De acuerdo con la invención, la célula comprende además un colector para retirar especies de dicho elemento o elementos del electrolito, teniendo el colector una superficie conductora de la electricidad en contacto con el electrolito fundido. Durante el uso, la superficie conductora del colector está a un potencial que es menos negativo que el potencial catódico del metal producido para inhibir la reducción sobre ella de especies del metal a producir, y a o más negativo que el potencial de reducción de las especies de dicho elemento o elementos para permitir la reducción de los mismos sobre la superficie conductora del colector. La célula se dispone de modo que especies de dicho elemento o elementos se reduzcan sobre la superficie conductora del colector en lugar de sobre el cátodo para inhibir la contaminación del metal producido por dicho elemento o elementos.

50 La presente invención se refiere a la retirada de elementos que es probable que contaminen de forma inaceptable el metal producido. Por lo tanto, el colector de la presente invención debe estar colocado en una ubicación en la cual una parte sustancial de estos elementos pueda ser interceptada antes de alcanzar el metal producido. A la inversa, el documento mencionado anteriormente US2004/0020786 se refiere a la retirada de azufre que no es probable que contamine de forma inaceptable el aluminio producido en células con ánodo de carbono convencionales o células con ánodo no de carbono. Como se describe en esta publicación, un electrodo de purificación usado para retirar azufre está oculto en una zona libre de oxígeno fuera del chorro de electrolito principal y protegida de éste, es decir este electrodo no está en una ubicación en la cual una parte sustancial de elementos contaminantes sean interceptados y reducidos sobre el electrodo de purificación antes de alcanzar el metal producido.

El metal que se somete a extracción electrolítica en dicha célula es, por ejemplo, aluminio, magnesio, titanio, manganeso, sodio, potasio, litio, zirconio, tántalo o niobio. El aluminio puede producirse a partir de alúmina disuelta en un electrolito fundido a base de fluoruro (o posiblemente cloruro).

5 Los elementos que es probable que contaminen el metal producido dependen del tipo de extracción electrolítica de metal y de las condiciones de funcionamiento de la célula. Dichos elementos pueden ser metales, metaloides y no metales. Los ejemplos de elementos contaminantes se dan a continuación.

10 Se entiende que el hecho de que el potencial del colector tenga que ser "menos negativo" que el potencial catódico no implica necesariamente que tanto el potencial del colector como el potencial catódico sean negativos. Dependiendo del referencial de potencial que se use, también puede significar que: el potencial catódico es negativo mientras que el potencial del colector no es negativo (por ejemplo un potencial anódico a 3 V, un potencial catódico a -0,5 V y un potencial del colector a +0,5 V); o ambos potenciales no son negativos, siendo el potencial del colector mayor que el potencial catódico (por ejemplo un potencial anódico a 3,5 V, un potencial catódico a 0 V y un potencial del colector a +1 V).

15 Usando dicho colector, especies de elementos que tienen un potencial de reducción que es menos negativo que el de las especies del metal a producir, pueden retirarse de forma selectiva del electrolito mediante exposición al colector y no alcanzan el cátodo de la célula. Por consiguiente, el producto metálico no resulta contaminado por estos elementos que se depositan desde el electrolito fundido sobre el colector de la invención antes de alcanzar el cátodo.

20 Ventajosamente, la célula se dispone para promover durante el uso una circulación de electrolito desde y hacia el cátodo, estando la superficie conductora del colector expuesta al electrolito fundido que circula hacia el cátodo y que contiene las especies de dicho elemento o elementos. Canalizando el electrolito circulante a la superficie del colector antes de que alcance el cátodo, la deposición de estas especies en el metal producido catódicamente puede minimizarse o incluso casi eliminarse.

25 Por ejemplo, cuando el electrolito escapa del espacio ánodo-cátodo después de la exposición al ánodo antes de hacerle circular hacia el cátodo, por ejemplo como se muestra en los documentos WO00/40781, WO00/40782, WO03/006716, WO03/023091 y WO03/023091 (todos de de Nora) en el caso de extracción electrolítica de aluminio, la superficie conductora del colector puede estar situada fuera del espacio ánodo-cátodo en la trayectoria del electrolito. En tal caso, la superficie conductora debe estar conectada eléctricamente a un medio para aplicar un potencial.

30 Como alternativa, la superficie conductora del colector está situada entre el ánodo y el cátodo. En esta configuración, la superficie conductora del colector puede estar conectada eléctricamente a una fuente de tensión, o el potencial puede establecerse mediante su posición relativa al ánodo y al cátodo.

35 La célula puede comprender un medio para suministrar a la superficie conductora del colector una corriente para reducir especies del elemento o elementos contaminantes sobre la superficie conductora del colector durante el uso. El medio para suministrar corriente puede incluir una resistencia entre el cátodo y el colector o una fuente de corriente externa separada. La corriente suministrada a la superficie del colector también puede usarse para obtener el potencial deseado de la superficie del colector.

40 Para reducir especies del elemento o elementos contaminantes sobre la superficie conductora, puede suministrarse una carga eléctrica a esta superficie mediante oxidación sobre esta superficie de metal producido y/u otro metal que está o están disueltos en el electrolito. En el caso de extracción electrolítica de aluminio, aluminio disuelto y/o metal sodio disuelto (por ejemplo, producido mediante reducción de iones de sodio a partir de un electrolito que contiene fluoruro sódico) pueden suministrar a la superficie del colector una carga eléctrica mediante oxidación sobre esta superficie.

45 Al nivel de contaminación habitual del electrolito, por ejemplo en el caso de una célula de extracción electrolítica de aluminio que funciona con ánodos a base de metal, la corriente del colector se mantiene típicamente por debajo del 1% de la corriente del ánodo, en particular por debajo del 0,5%, a menudo por debajo del 0,30%. Esto es suficiente para retirar de forma significativa los elementos contaminantes del electrolito e inhibir y producir un aluminio de alta pureza.

50 La superficie conductora del colector puede estar hecha de carbono. Como alternativa, la superficie conductora puede ser a base de metal, en cuyo caso la superficie conductora está a un potencial por debajo del potencial de disolución electroquímica de la superficie a base de metal. Las superficies a base de metal adecuadas incluyen superficies que comprenden al menos un metal seleccionado entre titanio, vanadio, cromo, manganeso, hierro, cobalto, níquel, cobre, itrio, zirconio, niobio, molibdeno, rutenio, rodio, paladio, hafnio, tungsteno, renio, iridio, platino, oro, o un compuesto de los mismos, en particular un óxido o un boruro.

55 Las especies de elementos contaminantes que pueden recogerse en el colector de la invención habitualmente comprenden especies de al menos un metal seleccionado entre níquel, hierro, cobre, cobalto, titanio, cromo, manganeso, itrio, cadmio, estaño, antimonio, oro, platino, plata, cerio, paladio, rutenio, tungsteno, bismuto y plomo.

5 Cuando la célula tiene un ánodo a base de metal, el ánodo tiene una superficie que habitualmente incluye al menos uno de esta lista de metales o un compuesto de los mismos, tal como un óxido. Las composiciones de ánodo a base de metal adecuadas para la extracción electrolítica de aluminio se dan en las referencias descritas en los antecedentes de la invención.

10 Otras especies de elemento o elementos que es probable que contaminen el metal producido y que pueden retirarse del electrolito usando el colector anterior incluyen especies de metaloides, tales como silicio o boro, y/o no metales, tales como azufre.

15 La invención también se aplica a células que funcionan con ánodos de carbono. En particular, el colector puede usarse con cualquier célula con ánodo de carbono conocida para la extracción electrolítica de aluminio, tal como células Hall-Héroult o células Søderberg. En tal caso, el colector se usa ventajosamente para retirar del electrolito especies de hierro que entran como una impureza de la alúmina introducida, como se ha mencionado anteriormente, así como constituyentes del ánodo y/o impurezas que se disuelven en el electrolito.

20 La superficie conductora del colector puede estar formada por uno o más miembros alargados. Por ejemplo, la superficie conductora del colector está formada por un alambre, en particular una espiral. Como alternativa, la superficie conductora del colector puede estar formada por una o más barras, en particular una rejilla ensamblada o moldeada, o cualquier otra estructura foraminada a través de la cual el electrolito pueda circular, en particular una estructura en forma de una placa perforada, una estructura en panal o una espuma.

Otro aspecto de la invención se refiere a un método de extracción electrolítica de un metal, en particular aluminio, en una célula como se ha descrito anteriormente. Este método comprende:

25 a) fijar el cátodo a un potencial catódico para reducir sobre él especies del metal a producir;

b) fijar la superficie conductora del colector a un potencial catódico que es:

- menos negativo que el potencial catódico del metal a producir para inhibir la reducción sobre ella de especies del metal a producir; y

- en o más negativo que el potencial de reducción de las especies de los elementos contaminantes;

30 c) producir el metal sobre el cátodo a partir de el compuesto disuelto del metal a producir; y

d) reducir especies del elemento o elementos contaminantes sobre la superficie conductora del colector en lugar de sobre el cátodo para inhibir la contaminación del metal producido por dicho elemento o elementos.

35 Habitualmente, la superficie conductora del colector está a un potencial en el intervalo de 0,5 a 1,5 V por encima del potencial catódico del metal a producir, en particular de 0,7 a 1,2 V por encima de éste, para inhibir la reducción de especies del metal a producir sobre el colector. Dicho potencial es también lo suficientemente bajo para impedir la disolución de la superficie del colector cuando es a base de metal.

40 Un aspecto adicional de la invención se refiere a una célula para la extracción electrolítica de aluminio a partir de alúmina disuelta en un electrolito fundido que contiene especies de al menos un elemento que es probable que contamine el aluminio producido. La célula comprende un ánodo y un cátodo que están en contacto con el electrolito fundido. Durante el uso, el cátodo está a un potencial catódico para reducir sobre él especies de aluminio a partir de la alúmina disuelta.

45 De acuerdo con la invención, la célula comprende además un colector para retirar especies de dicho elemento o elementos del electrolito. El colector tiene una superficie en contacto con el electrolito fundido. La célula está dispuesta de modo que especies de dicho elemento o elementos disueltas en el electrolito fundido se recogen sobre la superficie del colector en lugar de sobre el cátodo para inhibir la contaminación del aluminio producido por dicho elemento o elementos.

50 Otro aspecto más de la invención se refiere a un método de extracción electrolítica de aluminio en dicha célula. El método comprende producir aluminio sobre el cátodo a partir de la alúmina disuelta, y recoger especies de dicho elemento o elementos sobre la superficie del colector en lugar de sobre el cátodo para inhibir la contaminación del aluminio producido por dicho elemento o elementos.

55 Estos célula y proceso de extracción electrolítica de aluminio pueden incorporar cualquiera de las características de célula o método descritas anteriormente.

Breve descripción de los dibujos

60 La invención se describirá adicionalmente en referencia a los dibujos esquemáticos adjuntos, en los que:

- La figura 1 muestra una célula a escala de laboratorio que tiene un colector de acuerdo con la invención;

- La figura 2 muestra una célula de extracción electrolítica de aluminio con una serie de colectores de acuerdo con la invención, mostrándose vistas detalladas de los colectores en las figuras 2a y 2b;

65 - La figura 3 muestra parte de una célula de extracción electrolítica de aluminio con otros colectores de acuerdo con la invención.

- La figura 4 muestra otra célula de extracción electrolítica de aluminio de acuerdo con la invención; y

- La figura 5 muestra parte de una célula de extracción electrolítica de aluminio equipada con ánodos de carbono y con colectores de la invención.

Descripción detallada

5 La figura 1 muestra una célula a escala de laboratorio que tiene un arreglo de ánodo-cátodo como se describe con más detalla en el documento WO03/083176 (de Nora/Duruz). La célula tiene un receptáculo catódico de grafito 10 cuya parte inferior se hace humectable por aluminio mediante una capa a base de boruro 11. La capa a base de boruro 11 está cubierta por una capa de aluminio producido catódicamente 20. Las paredes laterales 15 están cubiertas por un manguito 16 hecho de alúmina fusionada. El receptáculo catódico contiene un electrolito fundido a base de criolita 30 en el que se disuelve la alúmina.

15 Un ánodo que desprende oxígeno 40 está suspendido en el electrolito fundido 30 separado por encima del aluminio catódico 20 por un espacio ánodo-cátodo 35. El ánodo tiene una estructura activa similar a una rejilla 41, por ejemplo como se describe en los documentos WO00/40781, WO00/40782 o WO03/006716 (todos de de Nora), que está hecha de una aleación que contiene un metal de transición que tiene una capa de óxido integral que contiene principalmente uno o más óxidos de metal de transición que se disuelven lentamente en el electrolito y son compensados mediante la oxidación de la aleación en la interfaz de la aleación/capa de óxido.

20 La disolución de óxidos del ánodo conduce a la presencia en el electrolito 30 de especies de metales que es probable que contaminen el aluminio producido 20 y que tienen un potencial de reducción catódica que es menos negativo que el potencial del aluminio catódico.

25 De acuerdo con la invención, un colector conductor de la electricidad 50 para recoger estas especies de metales se coloca en el electrolito 30. El colector 50 está hecho de un alambre metálico que tiene un punto de fusión por encima de la temperatura del electrolito 30, por ejemplo un alambre de hierro, formado como una espiral por encima de la periferia de la estructura activa del ánodo 41. El colector 50 está conectado eléctricamente de forma externa a través de la resistencia R al receptáculo catódico 10 de modo que el colector 50 está a un potencial que es, por un lado, menos negativo que el potencial catódico del aluminio para inhibir la reducción de especies de aluminio sobre él y, por otro lado, a o más negativo que el potencial de reducción de dichas especies metálicas para permitir su reducción sobre el colector 50.

35 Durante el uso, la alúmina se electroliza en el espacio ánodo-cátodo 35 para producir oxígeno sobre la estructura activa del ánodo 41 y alúmina sobre la capa de aluminio 20. El oxígeno que escapa promueve una circulación del electrolito indicada mediante las flechas 31 a través de la estructura del ánodo similar a una rejilla 41 hacia la superficie del electrolito 30, a través del colector polarizado 50 y al interior del espacio ánodo-cátodo 35 para electrolisis. Las especies metálicas disueltas del ánodo 40 son portadas por el electrolito circulante 30 al colector polarizado 50 donde se retiran del electrolito circulante 30 mediante reducción sobre el colector 50 antes de alcanzar el espacio ánodo-cátodo 35 y antes de la exposición del electrolito 30 al aluminio producido 20.

40 La célula mostrada en la figura 2 está provista de una serie de ánodos 40 enfrentados a una superficie del cátodo drenada formada por un recubrimiento humectable por aluminio 11 sobre bloques del cátodo 10. Recubrimientos humectables por aluminio adecuados se describen, por ejemplo, en los documentos WO01/42168 (de Nora/Duruz), WO01/42531 (Nguyen/Duruz/de Nora) y WO02/096831 (Nguyen/de Nora). La célula se aísla con una tapa aislante 18 y una pared lateral aislante 15 cubierta con un forro de carburo de silicio 16. Esto permite el funcionamiento sin rebordes ni costras del electrolito fundido 30 contenido en la célula. Las tapas aislantes de células se describen con más detalle en los documentos WO02/070784 (de Nora/Berclaz) y WO03/102274 (de Nora/Berclaz).

50 Cada ánodo 40 tiene una estructura activa del ánodo foraminada 41 y porta una serie de deflectores 42 para promover una circulación del electrolito a través de la estructura activa del ánodo 41. Las estructuras del ánodo de este tipo se describen con más detalle en el documento WO00/40781 (de Nora).

55 El aluminio producido 20 es drenado de la capa humectable por aluminio 11 a un depósito central de recogida de aluminio 12 desde donde el aluminio producido 20 puede extraerse. Las partes inferiores de la célula de este tipo se describen con más detalle en los documentos WO00/63463 (de Nora) y WO01/31086 (de Nora/Duruz).

60 En esta realización de la invención, la célula comprende una serie de colectores 50 que están conectados a un fuente de corriente externa y que están dispuestos para retirar del electrolito especies de elementos que es probable que contaminen el aluminio producido 20. Los colectores 50 se muestra en sección transversal en la figura 2a y en una vista en planta en la figura 2b. Además, los colectores 50 están suspendidos por vástagos 55 por encima de los ánodos 40. Cada colector 50 comprende una estructura foraminada que se extiende horizontalmente en forma de una rejilla moldeada que comprende barras longitudinales 51 y barras transversales 52. Las barras 51, 52 tienen una sección transversal generalmente triangular con bordes redondeados para guiar el flujo descendente del electrolito y maximizar la superficie de las barras 51, 52 que está expuesta al electrolito circulante 30.

65 Cuando las estructuras del ánodo 41 son circulares, los colectores 50 pueden estar situados a una distancia por encima de ellas, alrededor de toda la periferia de cada estructura 41 o una parte significativa de la misma. Cuando las estructuras del ánodo 41 son poligonales (habitualmente cuadradas o rectangulares) los colectores deben

situarse al menos por encima de los bordes de los ánodos donde hay una circulación del electrolito 30 que contiene las especies contaminantes.

5 Durante el funcionamiento de la célula, el electrolito 30 es impulsado por el escape de oxígeno producido anódicamente. El electrolito que fluye hacia arriba 30 desde la estructura del ánodo 41 es interceptado por las barras polarizadas 51, 52 de los colectores 50, como se muestra mediante las flechas 31 en la figura 2a, antes de la recirculación de nuevo hacia abajo hasta la superficie del cátodo drenada 11. Esto permite la retirada, mediante reducción sobre los colectores 50, de especies de elementos diferentes de especies de aluminio o sodio del electrolito circulante 30 antes de que dichas especies puedan reducirse sobre la superficie del cátodo drenada 11 y contaminar el aluminio producido 20.

10 La figura 3, en la que los mismos números de referencia designan a los mismos elementos, muestra parte de una célula de extracción electrolítica de aluminio que tiene una estructura del ánodo 41 con una serie de deflectores 42 similares a los mostrados en la figura 2. Por encima de los deflectores 42 están los colectores 50 que tienen una rejilla que comprende las barras 51 conectadas a un vástago 55. Las barras 51 tienen superficies inclinadas para guiar a un flujo ascendente de electrolito 30 que es canalizado por los deflectores que convergen hacia arriba 42 situados debajo de los colectores 50.

15 En una variación (no se muestra), deflectores similares por encima de una estructura del ánodo se usan, por un lado, para promover una circulación del electrolito a través de la estructura activa del ánodo y, por otro lado, como un colector de acuerdo con la invención. En este caso, los deflectores no deben estar polarizados anódicamente sino que deben mantenerse a un potencial más bajo que permita la reducción sobre ellos de especies de elementos que, en caso contrario, contaminarían el aluminio producido.

20 La figura 4 muestra una célula de extracción electrolítica de aluminio que tiene una parte inferior horizontal polarizada catódicamente 10 cubierta con una capa de aluminio producido 20.

25 La célula tiene dos placas catódicas inclinadas 12 en un electrolito fundido 30. Cada placa 12 tiene una superficie del cátodo drenada humectable por aluminio en pendiente orientada hacia arriba 11 separada por un espacio ánodo-cátodo 35 de una superficie del ánodo activa en pendiente correspondiente de un ánodo 40 que tiene una estructura activa foraminada similar a una rejilla en forma de v 41 cubierta por un miembro guía del electrolito 45. Las placas catódicas 12 tienen también una cara posterior inclinada orientada hacia abajo 13 en el electrolito 30. La parte inferior de las placas catódicas 12 descansa sobre la parte inferior de la célula 10 en el charco de aluminio fundido 20 a través del cual se hace pasar corriente eléctrica desde una fuente de corriente externa hasta las placas catódicas 12. La placa catódica 12 tiene una muesca 14 en su parte inferior para el paso del charco de aluminio fundido 20 y para proporcionar un flujo de retorno de electrolito enriquecido en alúmina 30 hasta el extremo inferior del espacio ánodo-cátodo 35. Además, la placa catódica 12 tiene en su borde superior un par de aletas que se extienden horizontalmente 12' que separan la parte activa de la placa 12 de la pared lateral 15, 16 de la célula. Un pasaje 12 está provisto adyacente a las aletas 12' para el flujo descendente el electrolito enriquecido en alúmina 30 desde encima de la estructura activa del ánodo 41 y a continuación detrás de la superficie del cátodo drenada 13 hasta el extremo inferior del espacio ánodo-cátodo 35.

30 El ánodo 40 está suspendido en el electrolito 30 con la superficie activa del ánodo orientada hacia abajo formada por la estructura foraminada similar a una rejilla en forma de v 41 sustancialmente paralela a las superficies del cátodo orientadas hacia arriba 11. La estructura 41 está hecha de una serie de varillas horizontales paralelas (mostradas en sección transversal) que forman una superficie del ánodo abierta electroquímicamente activa en forma de v orientada generalmente hacia arriba. Las varillas del ánodo están eléctrica y mecánicamente conectadas a través de uno o más miembros transversales (no se muestran) y separadas entre sí por espacios entre miembros 43 que forman pasajes para un flujo ascendente de electrolito empobrecido en alúmina 30.

35 La célula se dispone para promover una circulación del electrolito fundido 30, indicada mediante las flechas 31, desde y hacia el espacio ánodo-cátodo 35. Específicamente, el ánodo 40 comprende un miembro guía del electrolito 45 por encima de la estructura del ánodo similar a una rejilla en forma de v 41 para guiar a todo el electrolito empobrecido en alúmina que fluye hacia arriba 30 a través de una abertura central 46 en el miembro guía 45 a una zona de alimentación de alúmina por encima de éste donde es enriquecido con alúmina, y a continuación paredes laterales por encima y alrededor de un extremo superior de la estructura del ánodo 41 de modo que el electrolito enriquecido en alúmina 30 se hace circular principalmente a través de las aletas adyacentes 12', a lo largo de la superficie en pendiente orientada hacia abajo 13 de la placa 12 y a continuación a través de la muesca 14 en el extremo inferior de la placa 12 a un extremo más bajo del espacio ánodo-cátodo 35.

40 Detalles y variaciones adicionales del arreglo ánodo-cátodo de esta célula se describen en el documento WO03/023092 (de Nora).

45 En esta realización de la invención, la célula comprende colectores 50 que tienen una estructura de rejilla hecha de barras horizontales paralelas 51 que están conectadas a través de miembros transversales (no se muestran) en una disposición de sección transversal de T invertida. Los colectores 50 están suspendidos por los vástagos 55 por encima de las aletas 12' de modo que todas las ramas de la T invertida intercepten al electrolito circulante 30 indicado mediante las flechas 31.

Los colectores 50 están polarizados a un potencial que es menos negativo que el potencial del aluminio catódico para inhibir la reducción sobre ellos de aluminio y que está a o es más negativo que el potencial de reducción de especies de elementos que es probable que contaminen el aluminio producido 20 para permitir la reducción de estas especies sobre el colector 50. Típicamente, el colector 50 está polarizado a un potencial que es de 0,5 a 1,5 V menos negativo (es decir más positivo) que el potencial del aluminio catódico.

Durante el uso, la alúmina disuelta en el electrolito 30 se electroliza en el espacio ánodo-cátodo 35 para producir aluminio sobre la superficie del cátodo 11 y oxígeno sobre la estructura del ánodo 41. El oxígeno emitido anódicamente que escapa promueve una circulación del electrolito que porta especies disueltas de metales anódicos a través de la abertura 46 a una zona por encima de la estructura del ánodo 41 donde es enriquecido con alúmina (y posibles especies de hierro que pueden estar presentes como una impureza de la alimentación de alúmina), y a continuación a través de la rejilla del colector polarizada 51 que recoge mediante reducción estas especies disueltas de metales anódicos y hierro, cuando están presentes, en lugar de especies de aluminio. El electrolito rico en alúmina purificado 30 se hace circular a continuación por detrás del cátodo 12 a lo largo de la superficie 13 hasta la muesca 14 desde donde es suministrado a un extremo inferior a del espacio ánodo-cátodo 35 para la posterior electrolisis.

La figura 5 muestra parte de una célula de extracción electrolítica de aluminio que tiene ánodos de carbono consumibles convencionales 40 suspendidos en un electrolito fundido 30 y enfrentadas a un charco de aluminio fundido catódico 20 sobre una parte inferior del cátodo hecha de bloques de carbono convencionales 10. La célula tiene un reborde lateral (no se muestra) y una costra 39 hecha de electrolito congelado.

La célula comprende colectores 50', 50'' para retirar especies de elementos que es probable que contaminen el aluminio producido 20, especies que en esta realización de la invención son en particular especies de hierro que están presentes como impurezas en la alimentación de alúmina así como azufre y otros constituyentes secundarios de ánodos de carbono 40 y bloques del cátodo 10.

Dos tipos de colectores se muestran en la figura 5: colectores horizontales 50' en el espacio ánodo-cátodo 35 y colectores verticales 50'' entre ánodos adyacentes 40. Ambos colectores 50', 50'' tienen una rejilla hecha de barras conductoras 51 para el flujo a su través del electrolito 30 que contiene las especies de elementos que es probable que contaminen el aluminio producido 20, para la retirada de dichas especies del electrolito mediante deposición sobre los colectores 50', 50''.

Cada colector horizontal 50' situado en el espacio ánodo-cátodo 35 comprende flotadores 56 que flotan sobre el charco de aluminio fundido 20 para mantener a la rejilla hecha de barras 51 muy separada del charco de aluminio fundido 20. De esta manera, la posición de la rejilla sigue las variaciones del nivel del charco de aluminio fundido 20 (y del ánodo que se consume 40) y está siempre sustancialmente a la misma distancia del charco de aluminio fundido catódico 20 y del ánodo que se consume 40, y a un potencial eléctrico sustancialmente constante.

Una carga eléctrica que se suministra al colector 50' mediante oxidación espontánea sobre él de aluminio y/o metal sodio disuelto en el electrolito fundido puede ser suficiente para reducir las especies metálicas contaminantes y purificar el electrolito 30 para obtener un aluminio producido de alta pureza 20, cuando la contaminación del electrolito 30 por dichas especies de elementos contaminantes es baja. En este caso, los flotadores 56 están hechos de materiales no conductores de la electricidad, tales como nitruro de boro. El potencial eléctrico del colector 50' se fija mediante la posición del colector en el campo eléctrico entre el ánodo 40 y el charco de aluminio fundido catódico 20.

Sin embargo, una corriente eléctrica adicional debe suministrarse al colector 50' cuando la contaminación del electrolito 30 es elevada. Esta corriente adicional puede estar provista internamente desde el charco fundido catódico 20 haciendo los flotadores 56 de un material, por ejemplo un compuesto de carbono/nitruro de boro, que tiene una resistividad eléctrica típicamente en el intervalo de 0,5 a 10 ohmios. En este caso, el potencial eléctrico del colector 50 viene dado por la caída de voltaje a través de los flotadores 56.

Cada colector vertical 50'' está suspendido entre ánodos adyacentes 40 (y/o entre un ánodo y una pared lateral de la célula) mediante un vástago 55 que se extiende a través de la costra 39. El colector 50'' está conectado eléctricamente a una fuente de corriente externa (no se muestra) para suministrar al colector 50'' una corriente que sea suficiente para retirar del electrolito 30 especies de elementos que es probable que contaminen al aluminio producido 20.

Durante el funcionamiento de la célula de la figura 5, la alúmina disuelta en el electrolito 30 se electroliza en el espacio ánodo-cátodo 35 para producir aluminio que es incorporado en el charco fundido catódico 20 y desprende CO₂ en el ánodo de carbono. La alúmina es suministrada a la célula a través de la costra 39 entre ánodos adyacentes 40 en el electrolito 30 donde se disuelve. La circulación al espacio ánodo-cátodo 35 del electrolito 30 enriquecido con alúmina es promovida por el escape de CO₂ producido anódicamente y mediante el movimiento del charco de aluminio fundido catódico 20. El electrolito 30 que circula por la célula fluye a través de las rejillas polarizadas de los colectores 50', 50'', con lo cual las especies de elementos que es probable que contaminen el aluminio producido 20 se retiran del electrolito circulante 30.

Mientras que los colectores mostrados en las figuras 1, 4 y 5 están todos hechos de una rejilla ensamblada de barras, es evidente que cada colector podría ser una rejilla moldeada (como se muestra en las figuras 2, 2a, 2b y 3) de una pieza con el vástago o a la cual se une un vástago, o que no tiene vástago en absoluto (como se muestra en la figura 5). Las barras ensambladas o moldeadas de colectores pueden tener cualquiera de los perfiles de los miembros del ánodo descritos en los documentos WO00/40782 y WO03/006717 (ambos de de Nora), incluyendo perfiles que son circulares, semi-circulares, rectangulares... Además, un colector puede estar hecho de una estructura foraminada a través de la cual el electrolito puede circular, por ejemplo una placa perforada o un cuerpo reticulado tal como una estructura en panal o una espuma.

La invención se describirá adicionalmente en los siguientes ejemplos.

Ejemplo 1

Una célula a escala de laboratorio como se muestra en la figura 1 se accionó de acuerdo con la invención.

La célula tenía un cátodo de carbono 10 recubierto con una capa humectable por aluminio 11 como se describe en el documento WO02/096831 (Nguyen/de Nora) y un ánodo 40 hecho de una aleación colada oxidada en superficie que contiene el 55% en peso de níquel, el 32% en peso de hierro, el 10% en peso de cobre, el 2% en peso de aluminio y el 1% en peso de aditivos secundarios preparada como se describe en el documento WO03/078695 (Nguyen/de Nora). El ánodo 40 se suspendió en el baño fundido a base de fluoruro de la célula 30 mediante un vástago hecho de Inconel® (el 74% en peso de níquel, el 17% en peso de cromo y el 9% en peso de hierro). El baño fundido 30 estaba a una temperatura de 925°C y estaba hecho del 68,4% de criolita (Na₃AlF₆), el 11% en peso de fluoruro de aluminio (AlF₃), el 9,6% en peso de alúmina (Al₂O₃), el 7% en peso de fluoruro de potasio (KF) y el 4% en peso de fluoruro de calcio (CaF₂).

El colector 50 estaba hecho de un alambre de platino (diámetro: 1,4 mm) conformado en un espiral (diámetro: 15 mm) que se extendía horizontalmente 2 cm por encima del ánodo 40. El colector estaba conectado eléctricamente al cátodo 10 a través de una resistencia externa R de 0,33 ohmios.

La célula se ensayó haciendo pasar a una corriente de electrolisis desde el cátodo 10 al ánodo 40 a una densidad de corriente anódica de 0,8 A/cm². El colector 50 se polarizó a un potencial eléctrico que era de aproximadamente 0,5 a 0,6 V por encima del potencial del cátodo 10, es decir no lo suficientemente bajo para permitir la deposición del aluminio sobre él, y aproximadamente de 3,0 a 3,1 V por debajo del potencial del ánodo 40, es decir lo suficientemente bajo para evitar la disolución de platino del colector. Una corriente eléctrica de 12 a 15 mA se hizo pasar desde el cátodo 10 al colector 50 a través de la resistencia externa R, lo que condujo a una densidad de corriente de aproximadamente 9 mA/cm² en la superficie del colector 50. La corriente que pasa a través del colector correspondía a aproximadamente el 0,2% de la corriente total que pasa hasta el ánodo.

Durante la electrolisis, la alúmina se electrolizó en el baño 30 y el aluminio 20 se produjo sobre la capa del cátodo 11. Las especies de metales procedentes del ánodo 40 (hierro, níquel, cobre...) se disolvieron lentamente en el electrolito 30 que circulaba alrededor del colector 50 y se redujeron sobre él.

Después de 44 horas, la electrolisis se interrumpió y el colector 50 se extrajo del electrolito 30. El colector de platino se cubrió con una capa de cerámica principalmente de níquel y óxidos de hierro y pequeñas cantidades de óxidos de cobre y otros metales, incluyendo cromo que se había disuelto desde el vástago del ánodo.

El aluminio producido 20 se analizó y mostró una contaminación de aproximadamente 200 ppm de hierro, 150 ppm de níquel y 50 ppm de otros metales.

Ejemplo 2

El ensayo de la célula del Ejemplo 1 se repitió varias veces con diferentes alambres colectores, incluyendo un alambre de cobre, un alambre de níquel, un alambre de hierro y un alambre hecho de una aleación que tiene la composición de la aleación del ánodo. Los resultados de estos ensayos fueron virtualmente los mismos que en el Ejemplo 1. Esto mostró que el uso de un metal no noble funcionaba tan bien como un metal noble como el platino.

Ejemplo 3 (Comparativo)

El ensayo de la célula del Ejemplo 1 se repitió pero sin usar el colector de la invención. La célula se accionó en las mismas condiciones que en el Ejemplo 1 excepto que el colector estaba ausente.

Después de 44 horas, el ensayo se interrumpió y el aluminio producido se analizó. Una contaminación de aproximadamente 2300 ppm de hierro, 1500 ppm de níquel y 600 ppm de otros metales se descubrió en el aluminio producido.

Como puede verse a partir de estos valores medidos, la contaminación del aluminio producido por constituyentes del ánodo tales como níquel y hierro es aproximadamente diez veces menor cuando se usa el colector de la invención.

Aunque la invención se ha descrito junto con realizaciones específicas de la misma, es evidente que muchas alternativas, modificaciones y variaciones serán evidentes para los expertos en la materia a la luz de la anterior descripción. Por consiguiente, se pretende abarcar todas estas alternativas, modificaciones y variaciones que están dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

5

En particular, en el caso en el que el colector que recoge metales que tienen la misma composición que el ánodo a base de metal en funcionamiento, una vez que el ánodo en funcionamiento se desgasta y el colector está cubierto por un chapado de metal procedente del ánodo, el colector y el ánodo pueden invertirse, de modo que el colector esté polarizado anódicamente para funcionar como un ánodo mientras que el ánodo desgastado está polarizado para funcionar como un colector.

10

REIVINDICACIONES

1. Célula para la extracción electrolítica de un metal a partir de un compuesto del mismo disuelto en un electrolito de sal fundida (30), en particular aluminio a partir de alúmina disuelta, comprendiendo dicha célula un ánodo (40) y un cátodo (10; 10, 11; 20) que está en contacto con el electrolito fundido (30), estando el cátodo durante el uso a un potencial catódico para reducir sobre él especies del metal a producir a partir del compuesto disuelto, conteniendo además el electrolito (30) especies de al menos un elemento que es probable que contamine el metal producido (20) y que tiene un potencial de reducción catódica que es menos negativo que el potencial catódico del metal a producir,

5

10 en la que la célula comprende además un colector (50) para retirar especies de dicho elemento o elementos del electrolito (30), teniendo dicho colector una superficie conductora de la electricidad en contacto con el electrolito fundido, estando la superficie conductora del colector durante el uso a un potencial que es:

15 - menos negativo que el potencial catódico del metal producido para inhibir la reducción sobre él de especies del metal a producir; y

20 - a o más negativo que el potencial de reducción de las especies de dicho elemento o elementos para permitir la reducción de los mismos sobre la superficie conductora del colector,

- estando la célula dispuesta de modo que especies de dicho elemento o elementos se reduzcan sobre la superficie conductora del colector en lugar de sobre el cátodo para inhibir la contaminación del metal producido (20) por dicho elemento o elementos.
- 25 2. Célula de la reivindicación 1, en la que la célula está dispuesta para promover durante el uso una circulación del electrolito (31) desde y hacia el cátodo (10; 10, 11; 20), estando la superficie conductora del colector expuesta al electrolito fundido (30) que circula hacia el cátodo (10; 10, 11; 20) y que contiene las especies de dicho elemento o elementos.
- 30 3. Célula de la reivindicación 2, en la que la superficie conductora del colector está situada fuera de un espacio (35) que separa el ánodo (40) y el cátodo (20), estando la superficie conductora conectada eléctricamente a un medio para aplicar un potencial.
- 35 4. Célula de la reivindicación 1 ó 2, en la que la superficie conductora del colector está situada entre el ánodo (40) y el cátodo (10; 10, 11; 20), estando la superficie conductora del colector opcionalmente conectada eléctricamente a una fuente de tensión o teniendo su potencial fijado por su posición relativa al ánodo y al cátodo.
- 40 5. Célula de cualquier reivindicación anterior, que comprende un medio para suministrar a la superficie conductora del colector una corriente para reducir especies de dicho elemento o elementos sobre la superficie conductora del colector durante el uso.
- 45 6. Célula de cualquier reivindicación anterior, en la que el electrolito (30), que es opcionalmente un electrolito que contiene sodio para extracción electrolítica de aluminio, contiene metal producido y/u otro metal disuelto, tal como sodio reducido a partir del electrolito, que durante el uso se oxida u oxidan sobre la superficie conductora del colector para pasar una carga eléctrica que reduce especies de dicho elemento o elementos sobre la superficie conductora.
- 50 7. Célula de cualquier reivindicación anterior, en la que la superficie conductora del colector (50) está hecha de carbono.
- 55 8. Célula de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en la que la superficie conductora del colector (50) es a base de metal, estando la superficie conductora a un potencial por debajo del potencial de disolución electroquímica de la superficie a base de metal, comprendiendo dicha superficie a base de metal en particular al menos un metal seleccionado entre titanio, vanadio, cromo, manganeso, hierro, cobalto, níquel, cobre, itrio, zirconio, niobio, molibdeno, rutenio, rodio, paladio, hafnio, tungsteno, renio, iridio, platino y oro, y/o un compuesto de los mismos tal como un óxido o un boruro.
- 60 9. Célula de cualquier reivindicación anterior, en la que las especies de dicho elemento o elementos comprenden especies de al menos un metal seleccionado entre níquel, hierro, cobre, cobalto, titanio, cromo, manganeso, itrio, cadmio, estaño, antimonio, oro, platino, plata, cerio, paladio, rutenio, tungsteno, bismuto y plomo, estando el ánodo opcionalmente hecho de carbono o teniendo una superficie que comprende uno o más de dicho metal o metales en forma metálica y/o en un compuesto.
- 65 10. Célula de cualquier reivindicación anterior, en la que las especies de dicho elemento o elementos comprenden especies de al menos un metaloide o no metal tal como azufre.

11. Célula de cualquier reivindicación anterior, en la que la superficie conductora del colector está formada por uno o más miembros alargados, en particular por un alambre tal como una espiral o por una o más barras tal como una rejilla.
- 5 12. Célula de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en la que la superficie del colector está formada por una estructura foraminada a través de la cual el electrolito (30) puede circular, en particular una estructura en forma de una placa perforada, una estructura en panal o una espuma.
- 10 13. Método de extracción electrolítica de un metal en una célula como se ha definido en cualquier reivindicación anterior, que comprende:
- 15 a) fijar el cátodo (20) a un potencial catódico para reducir sobre él especies del metal a producir;
b) fijar la superficie conductora del colector (50) a un potencial catódico que es:
- menos negativo que el potencial catódico del metal a producir para inhibir la reducción sobre él de especies del metal a producir; y
- a o más negativo que el potencial de reducción de las especies de dicho o dichos elementos;
c) producir el metal (20) sobre el cátodo (10; 10, 11; 20) a partir del compuesto disuelto del metal a producir; y
d) reducir especies de dicho elemento o elementos sobre la superficie conductora del colector en lugar de sobre el cátodo (20) para inhibir la contaminación del metal producido por dicho elemento o elementos.
- 20 14. Método de la reivindicación 13, en el que la superficie conductora del colector está a un potencial en el intervalo de 0,5 a 1,5 V por encima del potencial catódico del metal a producir, en particular de 0,7 a 1,2 V por encima de éste, seleccionándose el metal a someter a extracción electrolítica en particular entre aluminio, magnesio, titanio, manganeso, sodio, potasio, litio, zirconio, tántalo y niobio.
- 25

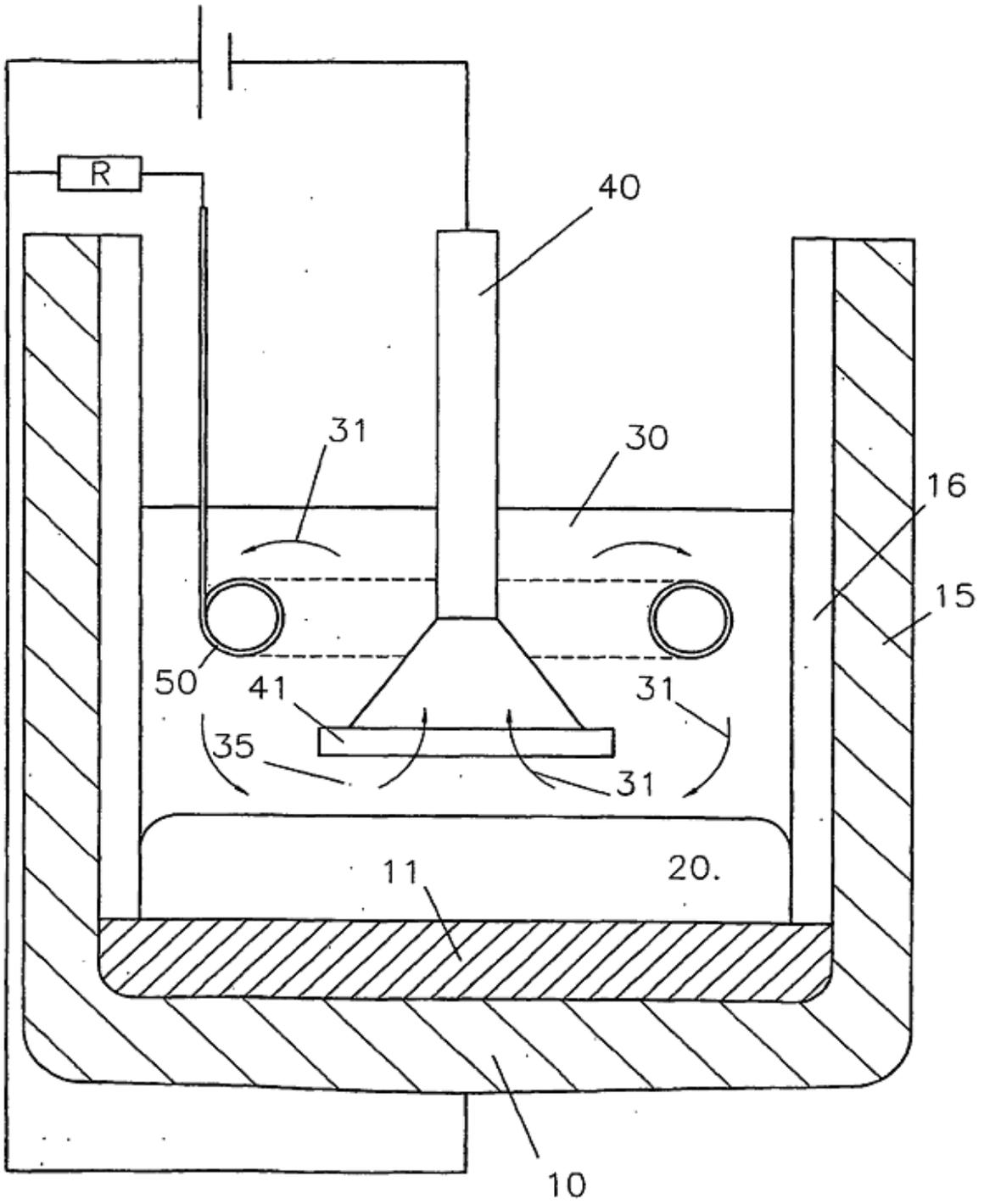


FIG 1

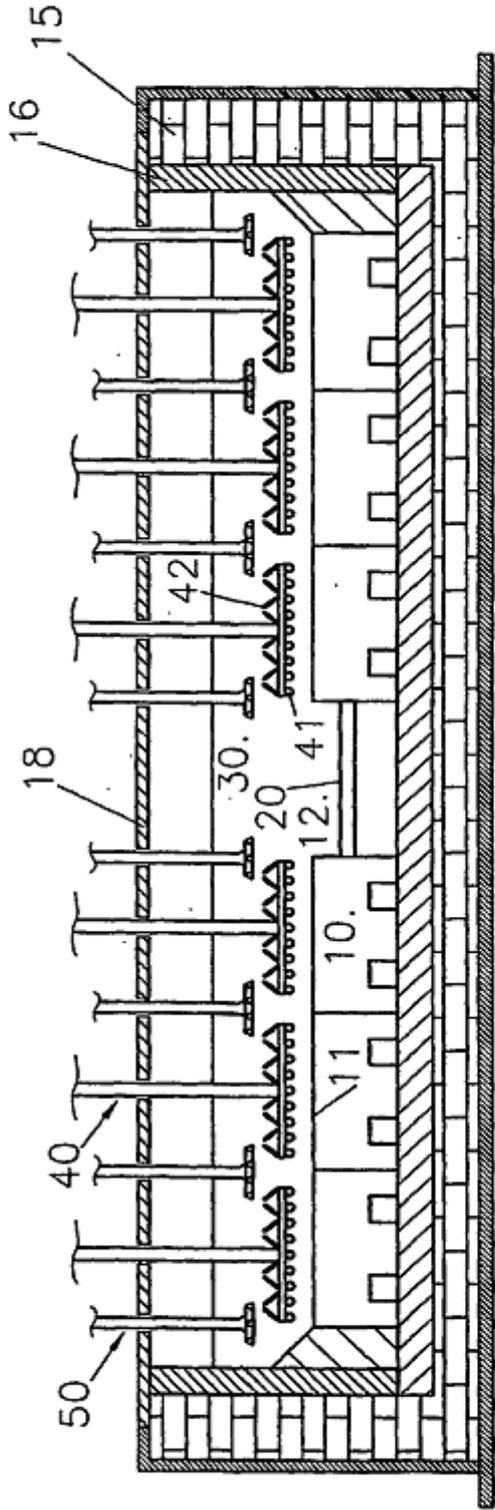


FIG 2

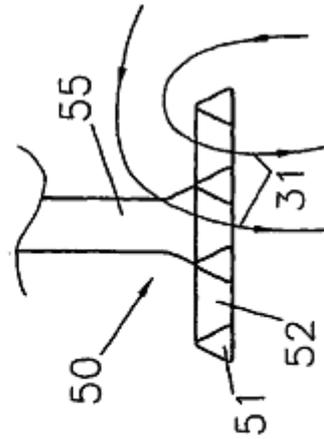


Fig.2a

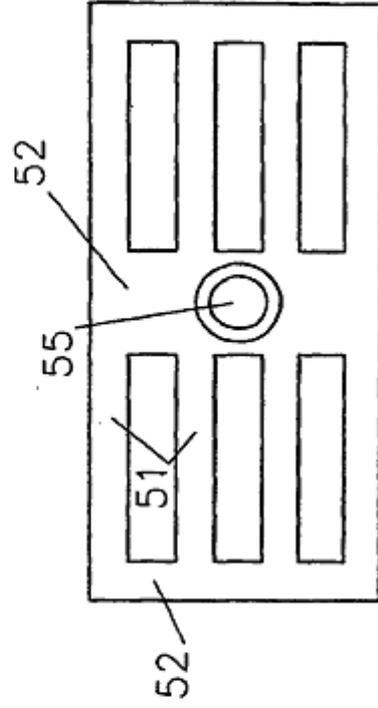


Fig.2b

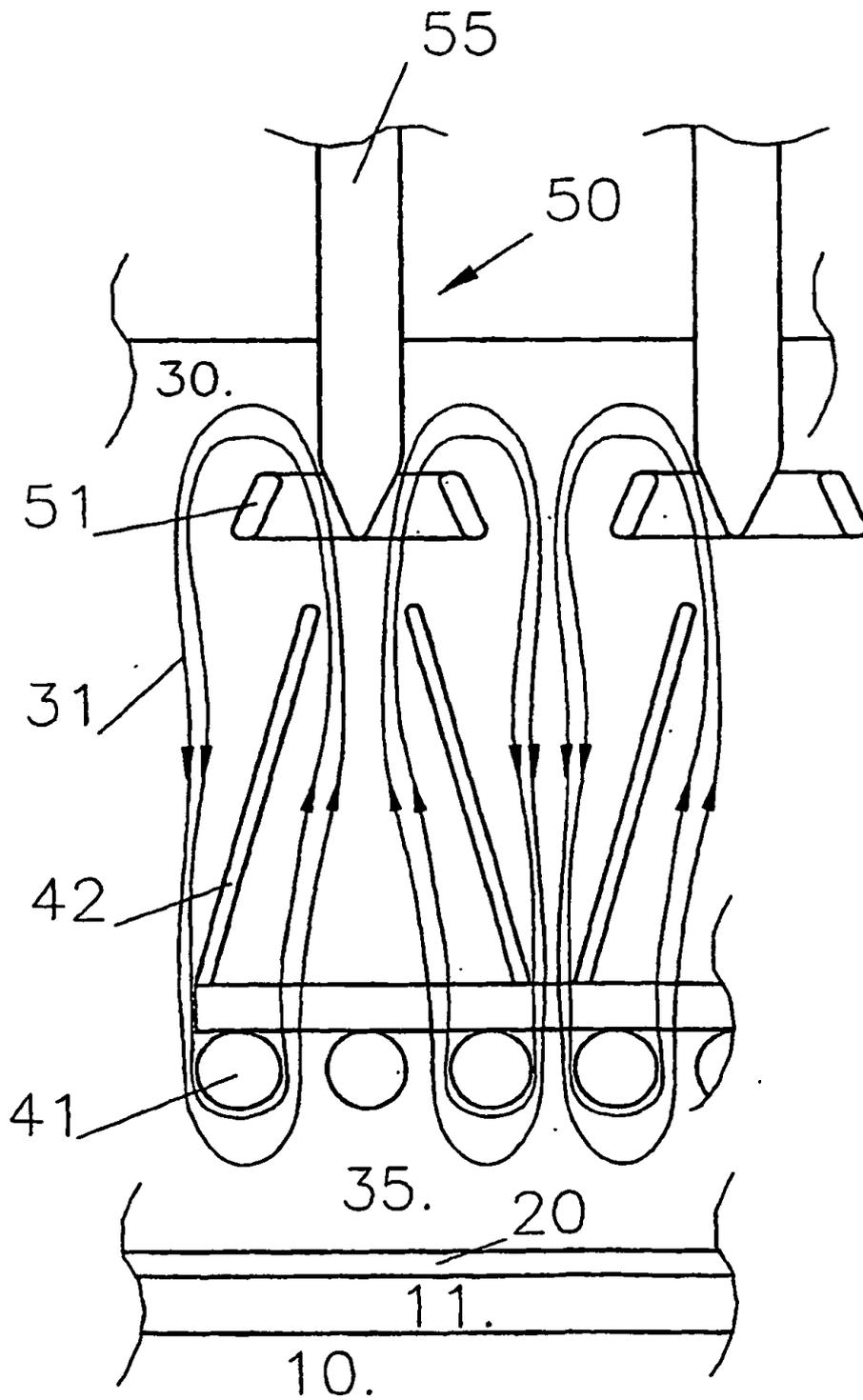


FIG. 3

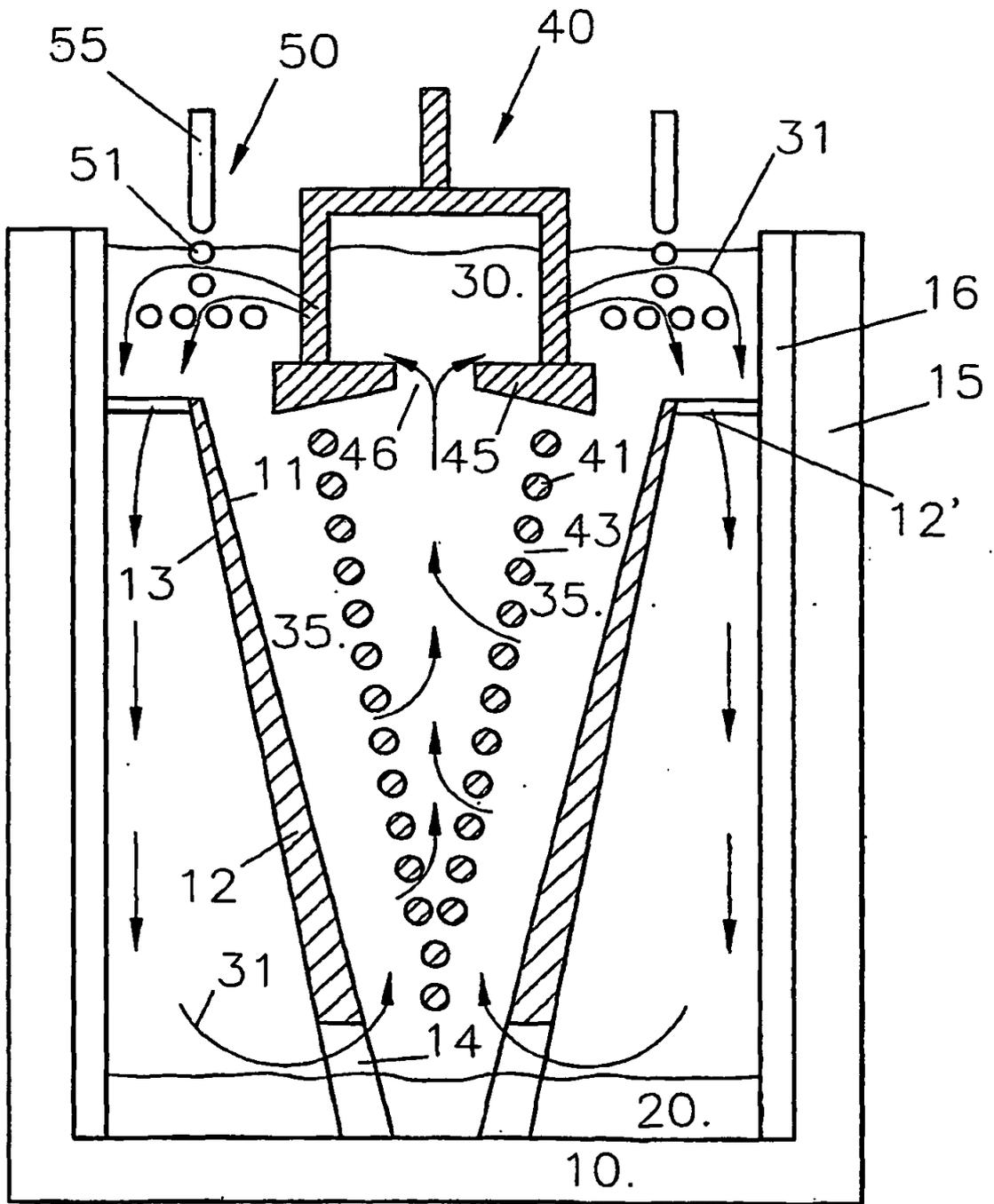


Fig. 4

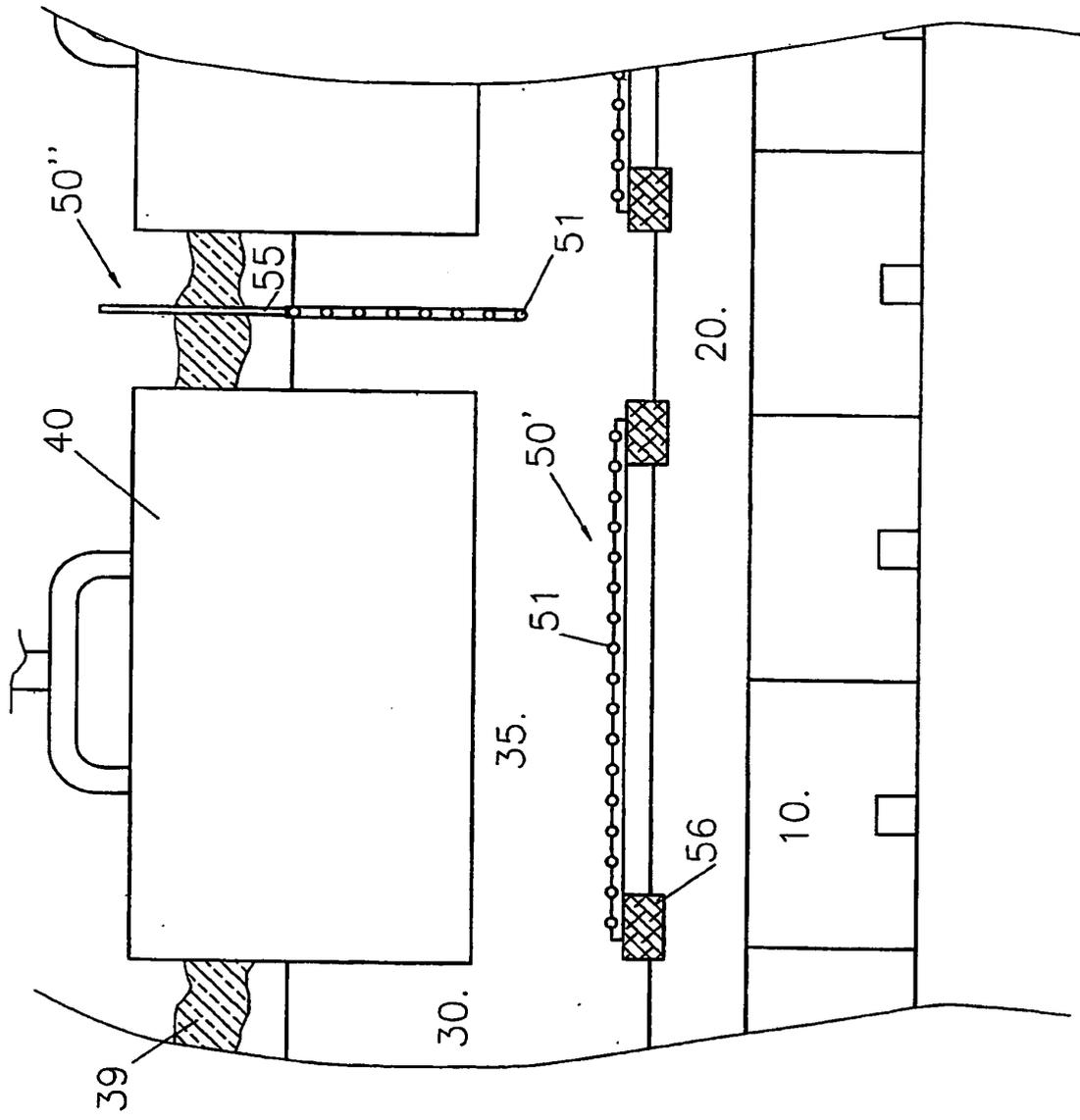


FIG 5