

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 726 818**

51 Int. Cl.:

C22B 5/16 (2006.01)

C22B 9/22 (2006.01)

F27B 1/16 (2006.01)

C22B 19/12 (2006.01)

C22B 19/30 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.08.2013 PCT/SE2013/051014**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.03.2014 WO14046593**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.08.2013 E 13838833 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.02.2019 EP 2898106**

54 Título: **Vaporización inducida por plasma**

30 Prioridad:

21.09.2012 SE 1251067

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

09.10.2019

73 Titular/es:

VAL'EAS RECYCLING SOLUTIONS AB (100.0%)

Box 41

813 21 Hofors, SE

72 Inventor/es:

IMRIS, MATEJ;

SANTÉN, SVEN y

HEEGAARD, BROR MAGNUS

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 726 818 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

Vaporización inducida por plasma

5 CAMPO TÉCNICO

La presente invención se refiere en general a disposiciones y procedimientos de recuperación de sustancias evaporables, y en particular a disposiciones y procedimientos de vaporización inducida por plasma.

10 ANTECEDENTES

Durante muchos años, se ha desarrollado la recuperación de valores de metales a partir de materiales de desecho metalúrgicos. Tal recuperación es beneficiosa por muchas razones. Una es que los materiales de desecho, por ejemplo, el polvo de EAF (Electric Arc Furnace; horno de arco eléctrico) y escoria de diferentes tipos a menudo
15 contienen cantidades tan altas de metales pesados que no son aptos para la deposición inmediata. Los productos de residuo que comprenden elementos como Sn, Zn y Pb no se devuelven preferentemente a la naturaleza sin ningún tratamiento protector. Además, el valor de estos elementos tampoco es despreciable. Al recuperar estos elementos, el entorno se respeta al mismo tiempo que se obtienen los metales útiles.

20 Desde hace tiempo se sabe que los diferentes tipos de procesos de vaporización recuperan sustancias evaporables tanto de fuentes primarias, tales como los minerales de Zn tostados como de fuentes secundarias, tales como el polvo de EAF, los residuos de lixiviación y las escorias secundarias. Un proceso típico simple de vaporización de escoria produce una escoria metalúrgica fundida. La escoria se expone normalmente a agentes reductores y se calienta a temperaturas relativamente altas. Los vapores de metales volátiles, como por ejemplo el zinc y el plomo, se transfieren
25 a la fase gaseosa por encima de la escoria y los vapores se eliminan para un tratamiento adicional para obtener los componentes metálicos. Un ejemplo típico de este tipo se encuentra, por ejemplo, en la solicitud de patente publicada GB 2 181 746 A o en la patente estadounidense 5.942.023.

En la patente estadounidense 4.571.260, se describe un procedimiento de recuperación de valores metálicos de
30 materiales que contienen estaño y/o zinc. El procedimiento es básicamente un proceso de Kaldnauer en el que se expone la superficie de un baño de escoria giratoria para obtener oxígeno y combustible. Se añaden flujo y coque para lograr una viscosidad adecuada y una agitación apropiada.

Una desventaja de la mayoría de las disposiciones iniciales de vaporización de escoria es que la eficiencia en la
35 eliminación de los metales volátiles no siempre fue la mejor. Contenidos relativamente altos de sustancias peligrosas permanecían en la escoria final.

En la actualidad, la literatura y la práctica operativa a menudo mencionan y aplican el tratamiento a alta temperatura de materiales que contienen metales volátiles. Las altas temperaturas son necesarias para garantizar altas tasas de vaporización y altos rendimientos. Como ejemplo, se puede usar la vaporización de Zn a partir de escorias de fayalita. Aquí, la escoria se sobrecalienta por encima de su punto de fusión normal de 1100 °C. Este sobrecalentamiento de la escoria produce una excelente vaporización, sin embargo, también produce un alto desgaste refractario y un mayor consumo de energía del proceso.

45 Los recipientes enfriados con agua se usan normalmente para superar el corto ciclo de vida del producto refractario, sin embargo, a un alto costo de la pérdida de calor que conlleva. Por lo tanto, las fundiciones normalmente tienen que comprometerse entre un alto desgaste, bajas tasas de vaporización y altas pérdidas de calor.

Los problemas mencionados anteriormente con alto desgaste refractario y alto coste energético se abordaron en la
50 solicitud de patente internacional publicada WO 2005/031014. Allí, se describen altas tasas de vaporización de Zn sin necesidad de sobrecalentar la escoria. De acuerdo con ese enfoque, el punto de fusión de la escoria se incrementa a 1300 °C mediante la adición de flujos adecuados. Al hacerlo, existe una necesidad limitada o nula de que la escoria se sobrecaliente para obtener altas tasas de vaporización. La razón es que la temperatura deseada para altas tasas de vaporización es normalmente alrededor de 1300 °C, y dado que el punto de fusión de la escoria es alrededor de
55 1300 °C, el sobrecalentamiento generalmente no es necesario. Se dice que una escoria de este tipo construye un revestimiento de congelación protectora en la parte superior del producto refractario en las paredes enfriadas con agua y, por lo tanto, este enfoque minimiza el desgaste del revestimiento. Sin embargo, el proceso de vaporización de acuerdo con el documento WO 2005/031014 tiene el costo de la energía necesaria para calentar todo el volumen de escoria en el reactor hasta 1300 °C, y el costo de los flujos que deben agregarse para aumentar el punto de fusión de
60 la escoria. Procedimientos similares se describen también en la solicitud de patente estadounidense publicada US

2010/0050814 A1 y en la solicitud de patente internacional publicada WO 2008/052661 A1.

Otro enfoque se describe en la patente estadounidense publicada US 4.252.563. Allí se describe un proceso continuo de vaporización de escoria en el que la escoria se vaporiza en dos zonas consecutivas de tratamiento de escoria. En la primera zona, la escoria se somete a un tratamiento térmico para vaporizar los constituyentes volátiles, preferentemente unidos a sulfuro. En la segunda zona de horno subsiguiente, la escoria se somete a un tratamiento de reducción, donde los óxidos se reducen a su forma elemental y se expulsan. Si la escoria se somete a una separación adicional después del proceso de vaporización, se puede someter a una 3ª zona adicional para la recuperación de cobre. Sin embargo, esta 3ª zona debe calentarse nuevamente, ya que la temperatura de la escoria después de la zona 2 desciende considerablemente. La temperatura de la escoria se ajusta en la primera zona de manera que el tratamiento de reducción y vaporización en la segunda zona se puede llevar a cabo esencialmente sin ningún calentamiento adicional de la escoria. El aire precalentado y el carbón pulverizado se utilizan para calentar la escoria, lo que da al proceso la necesidad de un sistema robusto de gases de descarga. La utilización del carbón como combustible proporciona las limitaciones del proceso para la entrada de energía y el potencial de oxígeno. En condiciones de reducción relativamente fuerte, se deben suministrar enormes cantidades de carbón para cubrir la demanda de energía para calentamiento y reducción. Esto da lugar a cantidades muy altas de gases de efecto invernadero agotados.

Se conoce el uso de sopletes de plasma sumergidos que generan un gas que agita el baño de escoria y para la alimentación de agentes reductores, por ejemplo, como se describe en la solicitud de patente estadounidense publicada US 2010/0050814.

A pesar del desarrollo en esta área técnica, aún quedan problemas por resolver. En particular, al resolver los problemas anteriores con el desgaste del revestimiento y la tasa de vaporización, aumentan los costos de los flujos, el calentamiento y el enfriamiento, así como, en algunos casos, las altas emisiones de óxidos de carbono.

RESUMEN

Un objeto general de la presente invención es mejorar la recuperación de sustancias evaporables. Un objeto particular de la presente invención es reducir el uso de formadores de escoria, para reducir la cantidad solicitada de energía suministrada y aún garantizar un bajo desgaste de los productos refractarios en el reactor.

Los objetos anteriores se logran mediante un procedimiento de acuerdo con la reivindicación independiente adjunta. Las realizaciones preferidas se especifican por las reivindicaciones dependientes. En general, en un primer aspecto, un procedimiento de recuperación de sustancias evaporables comprende la fusión de un material que comprende metales evaporables y/o compuestos metálicos evaporables en una escoria fundida. La escoria fundida es agitada por un chorro sumergido de gas caliente. El gas caliente se controla para que tenga una entalpía de al menos 200 MJ/kmol, y preferentemente de al menos 300 MJ/kmol. Al menos una parte de los metales evaporables y/o los compuestos metálicos evaporables se desprenden de la escoria fundida.

Una ventaja con la presente invención es que se reduce la cantidad requerida de energía para la vaporización inducida por plasma, mientras se mantiene la eficiencia de extracción en un nivel comparable. Otra ventaja es que la necesidad de formadores de escoria se reduce y, por lo tanto, también la cantidad final de escoria que se debe eliminar. Además, los compuestos valiosos se pueden recoger en una fase málica y/o metálica. Otras ventajas se describen en relación con las diferentes realizaciones en la sección de descripción detallada.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La invención, junto con otros objetivos y ventajas de la misma, puede comprenderse de la mejor manera al referirse a la siguiente descripción, tomándola junto con los dibujos adjuntos, en los que:

La FIG. 1 es una ilustración esquemática de una disposición para la recuperación de sustancias evaporables; y
La FIG. 2 es un diagrama de flujo de las etapas de una realización de un procedimiento de recuperación de sustancias evaporables.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

En todos los dibujos se utilizan los mismos números de referencia para elementos similares o correspondientes.

La invención expuesta en esta patente describe la recuperación de metales volátiles no ferrosos de materiales

secundarios y primarios.

El uso de sopletes de plasma sumergidos que generan un gas que agita el baño de escoria y para la alimentación de agentes reductores se conoce desde hace mucho tiempo. El gas introducido proporciona una agitación completa de la masa fundida al mismo tiempo que se agrega calor a la masa fundida. Además, se pueden agregar sustancias adicionales en el gas de plasma, por ejemplo, agentes reductores.

Una ventaja con el uso de un soplete de plasma sumergido es que la cantidad de calor añadido a la masa fundida es independiente de la cantidad de agentes reductores añadidos. En los sistemas, donde se utilizan diferentes compuestos de carbono para generar el calor, el potencial de oxígeno y la generación de calor estarán íntimamente conectados. Mediante el uso del soplete de plasma, prácticamente cualquier potencial de oxígeno se puede combinar con cualquier cantidad de generación de calor.

En los procedimientos de vaporización de escoria de la técnica anterior, los esfuerzos de desarrollo se han llevado a cabo evaluando el equilibrio o las condiciones homogéneas de casi equilibrio en el baño de escoria. Cuando la temperatura promedio de la escoria es lo suficientemente alta, la tasa de vaporización de la escoria aumenta. Los elementos volátiles salen del baño de escoria por la superficie del baño de escoria superior y entran en la fase de gas por encima de la escoria.

Una idea del presente enfoque es, en cambio, utilizar efectos dinámicos y condiciones no homogéneas. Si se usa un soplete de plasma sumergido, la agitación y el suministro de gas al baño de escoria causan condiciones que están lejos de ser homogéneas o de equilibrio. Tales condiciones locales podrían utilizarse para mejorar aún más las propiedades de vaporización.

También se ha encontrado sorprendentemente que al usar un soplete de plasma sumergido que introduce gas con una entalpía extremadamente alta, se pueden lograr altas tasas de vaporización de escoria muy por debajo de las temperaturas medias de escoria solicitadas indicadas anteriormente. En otras palabras, incluso si la temperatura promedio de la escoria está muy por debajo de las altas temperaturas de la tasa de vaporización de la técnica anterior, los elementos volátiles se extraen eficientemente de la escoria. Esto indica que se debe haber activado un mecanismo de vaporización completamente nuevo.

Se ha observado sorprendentemente que las burbujas de gas con la entalpía extremadamente alta extraen sustancias evaporables a una velocidad muy alta. El tiempo de vida de una burbuja es muy corto, sin embargo, grandes cantidades de elementos volátiles de todos modos han logrado dejar la escoria para entrar en las burbujas. Se encontró que el efecto de refuerzo del gas de plasma se hizo notable cuando el gas que entra en la escoria tiene una entalpía de un mínimo de 200 MJ/kmol. Preferentemente, el gas que entra en la escoria tiene una entalpía de un mínimo de 300 MJ/kmol. Se han probado con éxito entalpías de hasta 369 MJ/kmol. La temperatura de la interfaz entre la escoria líquida y la burbuja de gas se vuelve mucho más alta que la temperatura promedio de la escoria. Debido a esta interfaz caliente, se acelera la transferencia de masa de los elementos que deben vaporizarse, lo que da una alta tasa de vaporización de vapores metálicos y/u oxidicos. La alta transferencia de masa de vapor metálico y/u oxidico también puede mejorarse controlando el chorro de gas del sistema de plasma. De este modo, el chorro de gas se puede adaptar para proporcionar el potencial de oxígeno más adecuado y la presión parcial cero de los elementos/compuestos que deben vaporizarse.

Dado que la temperatura promedio la escoria ya no es el parámetro crítico crucial, la temperatura promedio de la escoria se puede seleccionar de acuerdo con otras preferencias. Por ejemplo, la temperatura promedio de la escoria se puede adaptar para crear un revestimiento por congelación de protección en las paredes enfriadas con agua. La temperatura media de la escoria se puede controlar de este modo dependiendo de la composición de la escoria para asumir un valor apropiado para el revestimiento por congelación. El presente enfoque abre así un proceso alternativo para altas tasas de vaporización a temperaturas medias de escoria, incluso tan bajas como 1100 °C. Si la composición de la escoria es apropiada, se creará un revestimiento por congelación protectora en las paredes enfriadas con agua. Además, no se necesita ningún producto refractario en tal ajuste, ya que dicha escoria se congela rápidamente en la superficie de las paredes de acero. La escoria se calienta a las temperaturas necesarias para crear un revestimiento por congelación mediante el control del flujo de gas del chorro de plasma sumergido que tiene las entalpías altas mencionadas.

Como se mencionó más arriba, el chorro de plasma también es posible utilizarlo para asegurar escoria fuertemente agitada y para proporcionar la capacidad de trabajar a cualquier potencial de oxígeno en una misma entrada de energía.

60

La Fig. 1 ilustra esquemáticamente una realización de una disposición 1 para la recuperación de sustancias evaporables. La disposición 1 comprende un horno 10. El material 22 que comprende metales evaporables y/o compuestos metálicos evaporables se introduce a través de una entrada 21 en el horno 10. Una disposición de calentamiento 20 está dispuesta para fundir el material 22 introducido en el horno 10 en una escoria fundida 24. En la presente realización, la disposición de calentamiento 20 comprende un sistema de soplete de plasma 28 y una tobera 29. De este modo, el soplete de plasma 28 está dispuesto para suministrar la energía necesaria para fundir el material 22, al menos cuando llega a la superficie 25 del baño de escoria. Preferentemente, el sistema de soplete de plasma 28 está diseñado para ser capaz de producir gas caliente a una temperatura superior a 3000 °C, y lo más preferentemente superior a 4000 °C.

10

En realizaciones alternativas, la disposición de calentamiento 20 puede comprender otros medios para convertir el material 22 introducido en el horno 10 en una escoria fundida 24. Un ejemplo podría ser una alimentación de materia prima neumática en el baño de escoria a través de una tobera 29. Dichos calentadores se combinan preferentemente con el efecto del sistema de soplete de plasma 28 para lograr la fusión. Además, como alternativa, el material 22 podría fundirse antes de introducirse en el horno 10.

15

En la realización de la Fig. 1, el sistema de soplete de plasma 28 se realiza a través de una tobera 29 sumergida en la escoria fundida 24. El sistema de soplete de plasma 28 también está dispuesto para agitar la escoria fundida 24 por medio de un chorro sumergido 26 de gas caliente. El gas caliente 27 crea burbujas en la escoria fundida 24, causando una agitación violenta de la escoria fundida 24 en su camino hacia la superficie 25 del baño de escoria. El soplete de plasma está adaptado para ser operable para dar al gas caliente 27 una entalpía de al menos 200 MJ/kmol, y preferentemente de al menos 300 MJ/kmol. Mediante esta alta entalpía, los metales evaporables y/o los compuestos metálicos evaporables se expulsan de las escorias fundidas 24 a las burbujas del gas caliente 27. Una cantidad menor de metales evaporables y/o compuestos metálicos evaporables también se expulsan directamente en un volumen de gas 12 por encima de la superficie de la escoria fundida 25. Las burbujas de gas caliente 27 se transportan rápidamente a la superficie de escoria fundida 25, y allí liberan el contenido en el gas caliente 27 al volumen de gas 12.

20

25

La presente realización comprende además un sistema de manejo de vapor 30. El sistema de manejo de vapor 30 está configurado para recoger los metales evaporables y/o los compuestos metálicos evaporables en el volumen de gas 12 que se han expulsado de la escoria fundida 24, ya sea directamente a través de la superficie de la escoria fundida o a través de las burbujas de gas caliente 27. Los metales y/o los compuestos metálicos se manejan de acuerdo con los procedimientos de la técnica anterior para la evaluación de los metales finales y/o los compuestos metálicos 31. La forma particular en que se manejan los metales evaporables y/o los compuestos metálicos evaporables no es crucial para el funcionamiento de la disposición de vaporización de escoria como tal y, por lo tanto, no se discute más.

30

35

La presente realización también comprende una salida de escoria 40 que permite la extracción de escoria fundida agotada en metales evaporables y/o compuestos metálicos evaporables. La presente realización de la disposición 1 tiene un horno que está dispuesto para realizar un proceso continuo. En otras palabras, la presente realización tiene por objeto una operación continua, donde el material 22 se introduce continua o intermitentemente en el horno 10. El material 22 se funde cuando entra en contacto con el gas caliente en el volumen de gas 12 o cuando entra en contacto con la superficie de la escoria fundida 25. Durante la agitación de las burbujas generadas por el chorro de gas 26 del soplete de plasma, la escoria fundida se agota en metales evaporables y/o compuestos metálicos evaporables, que en su lugar se evaporan en las burbujas. La escoria fundida agotada en metales evaporables y/o compuestos metálicos evaporables puede eliminarse de forma continua o intermitente del horno 10 por la salida de escoria 40.

40

45

En una realización alternativa, el horno 10 también puede funcionar de manera discontinua, donde el material 22 primero se introduce en el horno 10, luego se trata en una escoria fundida empobrecida en metales evaporables y/o compuestos metálicos evaporables y finalmente se retira del horno 10.

50

En una realización preferida, la disposición de calentamiento 20 comprende un controlador 23 dispuesto para operar la disposición de calentador 20 para mantener la escoria fundida 24 a una temperatura media predeterminada. La temperatura media predeterminada se selecciona preferentemente dependiendo de la composición de la escoria. Dado que la mayoría de las escorias están compuestas para tener una temperatura de fusión de alrededor de 1100 °C, la temperatura promedio predeterminada no debe exceder ese valor demasiado. Para sistemas que tienen composiciones de escoria estándar, el controlador 23 está dispuesto preferentemente para operar la disposición de calentador 20 para mantener la escoria fundida 24 a una temperatura promedio por debajo de 1200 °C, y preferentemente por debajo de 1150 °C. Para otros sistemas, que tienen otras temperaturas de fusión de la escoria, el controlador 23 está dispuesto preferentemente para operar la disposición del calentador 20 para mantener la escoria fundida 24 a una temperatura promedio de menos de 100 °C por encima de la temperatura de fusión de la escoria, y

55

60

preferentemente menos de 50 °C por encima de una temperatura de fusión de la escoria.

En una realización preferida, el horno 10 está equipado con una pared enfriada 15, con el fin de crear un revestimiento por congelación y poder reducir el desgaste de la pared del horno. La temperatura media predeterminada de la escoria también se selecciona preferentemente de acuerdo con el rendimiento de la pared enfriada 15. El controlador 23 se dispone entonces para equilibrar la temperatura media predeterminada de la escoria con el enfriamiento de la pared del reactor para crear una capa protectora de escoria congelada 16 en la pared del reactor 15.

Como se mencionó de manera breve anteriormente, una de las ventajas de usar un soplete de plasma para suministrar energía a un baño de escoria es que uno puede obtener fácilmente el control de una cantidad de agentes reductores introducidos sin poner restricciones en la potencia total suministrada. En una realización preferida, la disposición 1 comprende además medios de introducción 17 dispuestos para añadir carbono o hidrocarburo a las toberas 29 sumergidas en el baño de escoria que transporta el gas caliente desde el chorro de plasma 26. Esto permite el ajuste del potencial de oxígeno del gas caliente 27. El potencial de oxígeno se puede ajustar dentro del intervalo de 10^{-4} a 10^{-14} atm. Si los agentes reductores introducidos reducen la escoria fundida, tales reacciones son normalmente endotérmicas y se debe proporcionar energía adicional para mantener una temperatura constante. Cuando se usa un soplete de plasma, el controlador 23 se dispone fácilmente para controlar el soplete de plasma para suministrar la energía necesaria para reducir la escoria fundida.

En combinación con la recuperación de los metales volátiles, también se pueden extraer otros metales del material 22 introducido en el horno 10. En una realización, los medios de introducción 17 están dispuestos para ajustar un potencial de oxígeno en la escoria para que sea adecuado para reducir selectivamente compuestos metálicos en la escoria a una fase de metal fundido. Ejemplos de tales metales típicos que pueden reducirse de la escoria son Cu, Ni, Ag, Au, Pt y Pd. La fase de metal fundido 44 se recoge en el fondo del horno 10. La fase de metal fundido se elimina, de forma continua o intermitente, a través de una salida 42. El horno 10 está provisto para este fin con un producto refractario 45 en el fondo.

En otra realización, donde el material 22 introducido en el horno 10 y por lo tanto también la escoria comprende azufre o compuestos de azufre, también se puede obtener una fase de mata. Los medios de introducción 17 se disponen entonces para ajustar un potencial de oxígeno en la escoria para evitar que el azufre se oxide. Los metales pueden entonces recuperarse en una fase de mata fundida. Ejemplos de tales metales típicos que pueden reducirse de la escoria son Cu, Ni, Ag, Au, Pt y Pd. La fase de mata fundida se recoge en el fondo del horno 10. La fase de mata fundida se elimina, de forma continua o intermitente, a través de una salida.

En otra realización más, se pueden obtener tanto una fase metálica como una fase de mata, mediante el ajuste adecuado del potencial de oxígeno y el contenido de azufre. Como ejemplo no limitativo, Au, Pt y Pd pueden reducirse a una fase metálica, mientras que Cu y Ni forman la fase de mata. La fase de mata aparece normalmente en la parte superior de la fase metálica, ya que normalmente tiene una densidad más baja que la fase metálica y dado que las dos fases son más o menos insoluble en la otra. La fase de mata y la fase metálica se pueden extraer del horno mediante salidas separadas o mediante una salida común.

La Fig. 2 es un diagrama de flujo de las etapas de una realización de un procedimiento de recuperación de sustancias evaporables. El procedimiento comienza en la etapa 200. En la etapa 210, un material que comprende metales evaporables y/o compuestos metálicos evaporables se funde en una escoria fundida. La escoria fundida es agitada en la etapa 212 por un chorro sumergido de gas caliente. Preferentemente, la energía para fundir el material es suministrada por el chorro sumergido de gas caliente. En la etapa 214, el gas caliente se controla para que tenga una entalpía de al menos 200 MJ/kmol, y preferentemente de al menos 300 MJ/kmol. Preferentemente, el gas caliente tiene una temperatura al entrar en la escoria fundida por encima de 3000 °C, y preferentemente por encima de 4000 °C. Al menos para los tipos ordinarios de composiciones de escoria, es preferible dejar que el control de la escoria fundida tenga una temperatura promedio por debajo de 1200 °C, y preferentemente por debajo de 1150 °C. Dado que la temperatura de fusión de la escoria puede diferir con la composición real de la escoria, es preferible controlar la escoria fundida a una temperatura promedio de menos de 100 °C por encima de la temperatura de fusión de la escoria, y preferentemente de menos de 50 °C por encima de la temperatura de fusión de la escoria. Una de las ventajas de mantener la escoria fundida a estas temperaturas es que es más fácil mantener un revestimiento por congelación. Al menos una parte de los metales evaporables y/o los compuestos metálicos evaporables se desprende de la escoria fundida en la etapa 216. Preferentemente, una parte mayoritaria de la evaporación tiene lugar en el gas caliente. La energía para vaporizar el material es suministrada preferentemente por el chorro sumergido de gas caliente. El proceso termina en la etapa 299.

En la Fig. 2, el proceso se ilustra como un proceso de un solo lote. Sin embargo, en una realización preferida, el

ES 2 726 818 T3

método se opera como un proceso continuo. En otras palabras, las diferentes etapas se realizan preferentemente al menos parcialmente de forma simultánea y de manera continua o intermitente.

Preferentemente, el procedimiento comprende además el ajuste de un potencial de oxígeno del gas caliente mediante la adición de carbono o hidrocarburo en el gas caliente. El potencial de oxígeno se puede ajustar dentro del intervalo de 10^{-4} a 10^{-14} atm. La energía para reducir la escoria fundida es suministrada por el chorro sumergido de gas caliente.

Las pruebas de ejecución se han realizado de acuerdo con las ideas presentadas anteriormente. En un experimento particular, la escoria se mantuvo a una temperatura de 1100 °C y se introdujo un gas caliente con una entalpía de 280 MJ/kmol sumergido en la escoria. Se utilizaron 1000 kg de polvo EAF, 100 kg de coque y 100 kg de arena en esta prueba como material de entrada. El material entrante fue tostado.

Tabla 1. Cantidades de entrada

Material	Polvo de EAF	Coque	Arena
Cantidad kg:	1000	100	100
Compuesto	% en peso	% en peso	% en peso
SiO ₂	4,0		85,7
MnO	2,0		
P ₂ O ₅	0,4		
Cr ₂ O ₃	0,3		
NiO	1,0		
MgO	1,9		
CuO	0,4		
Cu	0,0		
TiO ₂	0,1		
Al ₂ O ₃	0,9		9,8
FeO	0,0		2,0
Fe ₂ O ₃	24,7		
CaO	4,8		2,5
Na ₂ O	1,1		
K ₂ O	0,3		
ZnO	41,1		
Zn	0,0		
PbO	4,7		
Pb	0,0		
C	2,2	99,6	
S	0,0	0,4	
H ₂ O	5,1	0,0	
KCl	2,9		
NaCl	1,5		
SO ₃	0,0		
O	0,5		
TOTAL	100,0	100,0	100,0

15

Tabla 2. Cantidades de salida

Material	Metal	Escoria	Gas	Producto recuperado
Cantidad kg:	6,9	491,6	701,5	495,6
Compuesto	% en peso	% en peso	% en peso	% en peso
SiO ₂		25,5	I	
MnO		4,0		
P ₂ O ₅		0,7		
Cr ₂ O ₃		0,7		
NiO		0,8		
Ni	68,7			
MgO		3,9		
CuO		0,2		
Cu	31,3			
TiO ₂		0,1		

Al ₂ O ₃		3,9		
FeO		45,6		
Fe ₂ O ₃		0,0		
CaO		10,2		
Na ₂ O		2,3		
K ₂ O		0,7		
ZnO		1,3		81,6
Zn			46,3	
PbO		0,0		9,5
Pb			6,2	
C			17,4	
H ₂ O (vapor)			3,7	
KCl			4,1	5,8
NaCl			2,2	3,0
O			19,6	
SO ₂			0,1	
H			0,4	
TOTAL	100	100	100	100

antes de la alimentación para eliminar el azufre del material. Las composiciones de los componentes se dan en la Tabla 1. Tenga en cuenta que el gas de plasma y los agentes reductores no se incluyen en los cálculos de la balanza. Durante la operación, se extrajeron un total de 701,5 kg de gas, de los cuales se recogieron eventualmente 495,6 kg de productos recuperados. En este experimento particular, el potencial de oxígeno se mantuvo a un nivel apropiado para reducir el CuO a cobre metálico y Fe₂O₃ en FeO, mientras que Zn y Pb se extrajeron en la fase gaseosa. Se utilizó aire como gas de plasma y el potencial de oxígeno se controló introduciendo propano en el gas caliente. La salida del experimento se muestra en la Tabla 2. Como conclusión, el nivel de ZnO en la presente prueba se redujo de 41,1 % en peso en el polvo de EAF a 1,3 % en peso en la escoria final, lo que corresponde a un grado de extracción de 98,4 %. Dichos niveles de extracción de Zn solo se han logrado antes a temperaturas de escoria superiores a 1300 °C.

En otro experimento particular, la escoria se mantuvo de nuevo a una temperatura de 1100 °C y se introdujo sumergido en la escoria gas caliente con una entalpía de 280 MJ/kmol. Se utilizaron 1000 kg de polvo EAF, 100 kg de coque y 100 kg de arena en esta prueba como material de entrada. Las composiciones de los componentes se dan en la Tabla 3. S y SO₃ están presentes en el sistema. Tenga en cuenta que el gas de plasma y los agentes reductores no se incluyen en los cálculos de la balanza. Durante la operación, se extrajeron un total de 704,3 kg de gas, de los cuales se recogieron 485,5 kg de productos recuperados, principalmente ZnO. En este experimento particular, el potencial de oxígeno se mantuvo a un nivel apropiado para evitar la oxidación del azufre, por lo tanto, recuperando el Cu y el Ni, respectivamente, en mata de cobre-níquel, y Fe₂O₃ en FeO y FeS, mientras que Zn y Pb se extrajeron en la fase gaseosa parcialmente como vapores metálicos. Se utilizó aire como gas de plasma y el potencial de oxígeno se controló introduciendo propano en el chorro de gas caliente. La salida del experimento se muestra en la Tabla 4. Como conclusión, el nivel de ZnO en la presente prueba se redujo de 40,3 % en peso en el polvo de EAF a 1,3 % en peso en la escoria final, lo que corresponde a un grado de extracción de 98,5 %.

25

Tabla 3. Cantidades de entrada

Material	Polvo de EAF	Coque	Arena
Cantidad kg:	1000	100	100
Compuesto	% en peso	% en peso	% en peso
SiO ₂	3,9		85,7
MnO	1,9		
P ₂ O ₅	0,3		
Cr ₂ O ₃	0,3		
NiO	1,0		
MgO	1,9		
CuO	0,4		
Cu	0,0		
TiO ₂	0,1		
Al ₂ O ₃	0,9		9,8
FeO	0,0		2,0

ES 2 726 818 T3

Fe ₂ O ₃	24,2		
CaO	4,7		2,5
Na ₂ O	1,1		
K ₂ O	0,3		
ZnO	40,3		
Zn	0,0		
PbO	4,6		
Pb	0,0		
C	2,2	99,6	
S	0,6	0,4	
H ₂ O	5,0	0,0	
KCl	2,8		
NaCl	1,5		
SO ₃	1,5		
O	0,5		
TOTAL	100,0	100,0	100,0

Tabla 4. Cantidades de salida

Material	Mata	Escoria	Gas	Producto recuperado
Cantidad kg:	17,1	478,6	704,3	485,5
Compuesto	% en peso	% en peso	% en peso	% en peso
SiO ₂		26,0		
MnO		4,0		
P ₂ O ₅		0,7		
Cr ₂ O ₃		0,7		
NiO		0,8		
NiS	42,2			
MgO		3,9		
CuO		0,2		
Cu ₂ S	15,3			
TiO ₂		0,1		
Al ₂ O ₃		4,0		
FeO		44,7		
FeS		42,5		
CaO		10,3		
Na ₂ O		2,3		
K ₂ O		0,7		
ZnO		1,3		81,6
ZnS	0,0			
Zn			45,2	
PbO		0,0		9,5
PbS	0,0			
Pb			6,1	
C			17,3	
H ₂ O (vapor)			3,6	
KCl			4,0	5,8
NaCl			2,1	3,0
O			19,8	
SO ₂			1,5	
S		0,2		
H			0,4	
TOTAL	100	100	100	100

También se presentaron cantidades menores de metales del grupo del platino y metales nobles en los experimentos presentados anteriormente. Se encontró que al menos el 98 % de Au, Pt y Pd se recuperaron en la fase de metal o mata. El Ag se recogió al 50-60 % en la fase de metal o mata, mientras que el 40-50 % terminó en la torta de filtro. Las realizaciones descritas anteriormente se deben entender como unos pocos ejemplos ilustrativos de la presente

invención. Resultará evidente para los expertos en la materia que se pueden realizar diversas modificaciones, combinaciones y cambios en las modalidades sin alejarse del alcance de la presente invención. En particular, las soluciones de partes diferentes en las diferentes realizaciones se pueden combinar en otras configuraciones, cuando sea técnicamente posible. El alcance de la presente invención se define, sin embargo, en las reivindicaciones adjuntas.

5

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de recuperación de sustancias evaporables, que comprende las etapas de:
- 5 fundir (210) un material que comprende al menos uno de metales evaporables y compuestos metálicos evaporables en una escoria fundida;
- agitar (212) dicha escoria fundida por un chorro sumergido de gas caliente de un soplete de plasma sumergido; y
- 10 extraer (216) al menos una parte de dicho al menos uno de los metales evaporables y los compuestos metálicos evaporables de dicha escoria fundida, **caracterizado por** la etapa adicional de
- controlar (214) dicho gas caliente para tener una entalpía de al menos 200 MJ/kmol.
- 15 2. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** dicha etapa de control (214) de dicho gas caliente comprende controlar (214) dicho gas caliente para que tenga una entalpía de al menos 300 MJ/kmol.
3. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque** dicha etapa de expulsión
- 20 (216) de al menos una parte de dicho al menos uno de los metales evaporables y los compuestos metálicos evaporables de dicha escoria fundida comprende la evaporación de dicho al menos uno de los metales evaporables y los compuestos metálicos evaporables se evaporan en dicho gas caliente.
4. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** dicha
- 25 escoria fundida tiene una temperatura media inferior a 100 °C por encima de la temperatura de fusión de dicha escoria.
5. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** dicha escoria fundida tiene una temperatura promedio de menos de 50 °C por encima de dicha temperatura de fusión de dicha escoria.
- 30 6. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** dicha escoria fundida tiene una temperatura promedio por debajo de 1200 °C.
7. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** dicha
- 35 escoria fundida tiene una temperatura promedio por debajo de 1150 °C.
8. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado porque** dicho gas caliente tiene una temperatura al entrar en dicha escoria fundida por encima de 3000 °C.
- 40 9. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado porque** dicho gas caliente tiene una temperatura al entrar en dicha escoria fundida por encima de 4000 °C.
10. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado porque** la energía para fundir y/o vaporizar dicho material es suministrada por dicho chorro de gas caliente sumergido.
- 45 11. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado por el** ajuste de un potencial de oxígeno de dicho gas caliente mediante la adición de carbono o hidrocarburo a dicho gas caliente.
12. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, **caracterizado por** el ajuste
- 50 de un potencial de oxígeno en dicha escoria mediante la adición de carbono sólido y/o hidrocarburo en dicha escoria.
13. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 11 o 12, **caracterizado porque** dicho potencial de oxígeno se ajusta dentro del intervalo de 10^{-4} a 10^{-14} atm.
- 55 14. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, **caracterizado porque** dicha etapa de ajustar un potencial de oxígeno en dicha escoria comprende ajustar un potencial de oxígeno en dicha escoria para reducir los compuestos metálicos en dicha escoria a una fase de metal fundido; y mediante la etapa adicional de eliminar dicha fase de metal fundido.
- 60 15. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 a 14, **caracterizado porque**

dicha escoria comprende azufre o compuestos de azufre;

dicha etapa de ajustar un potencial de oxígeno en dicha escoria comprende ajustar un potencial de oxígeno en dicha escoria para evitar la oxidación del azufre, recogiendo compuestos metálicos en dicha escoria en una fase de mata fundida; y mediante la etapa adicional de eliminar dicha fase de mata fundida.

5

16. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15, **caracterizado porque** la energía para reducir dicha escoria fundida es suministrada por dicho chorro de gas caliente sumergido.

17. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16, **caracterizado porque** el
10 procedimiento es un proceso continuo.

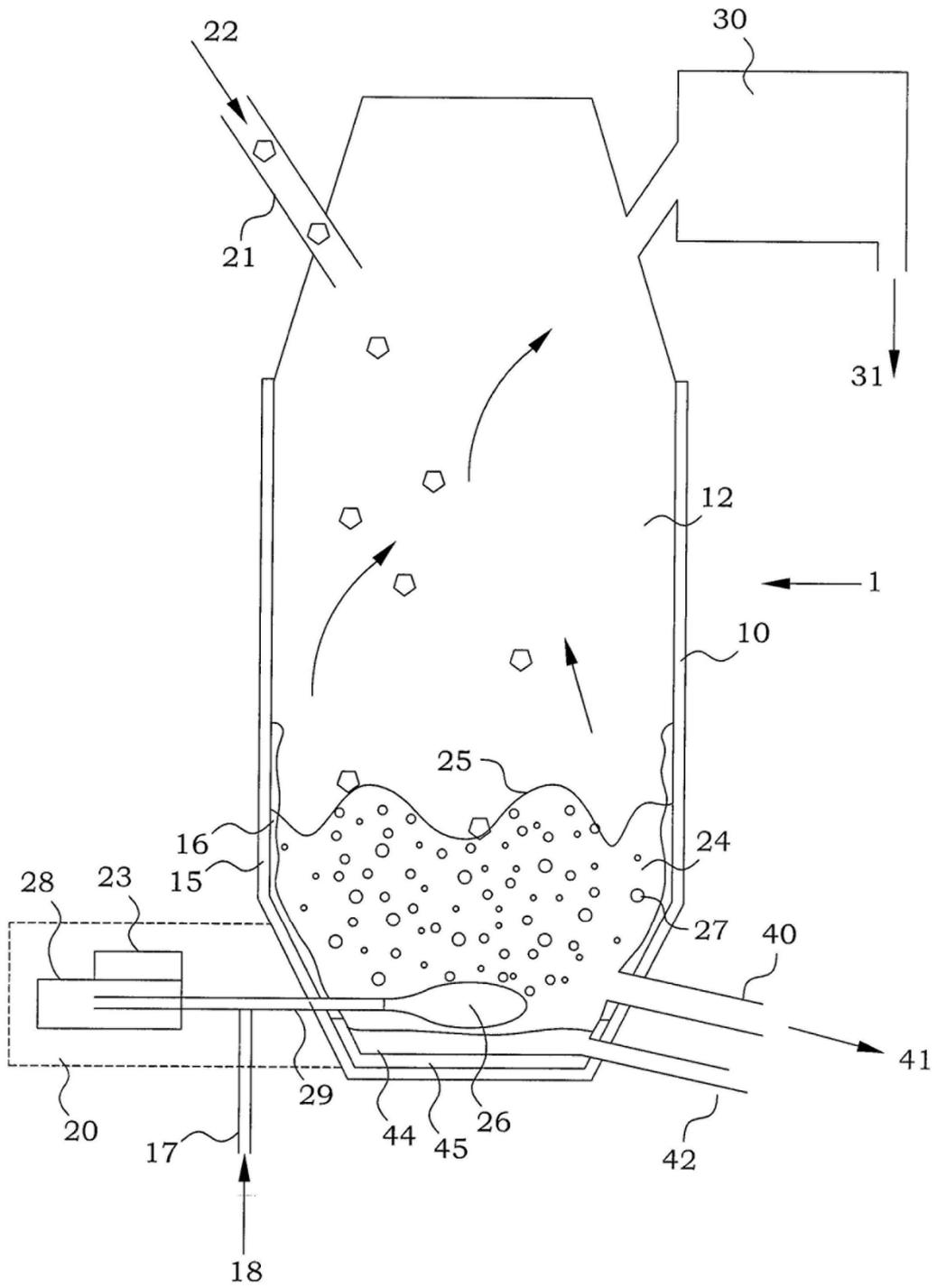


Fig. 1

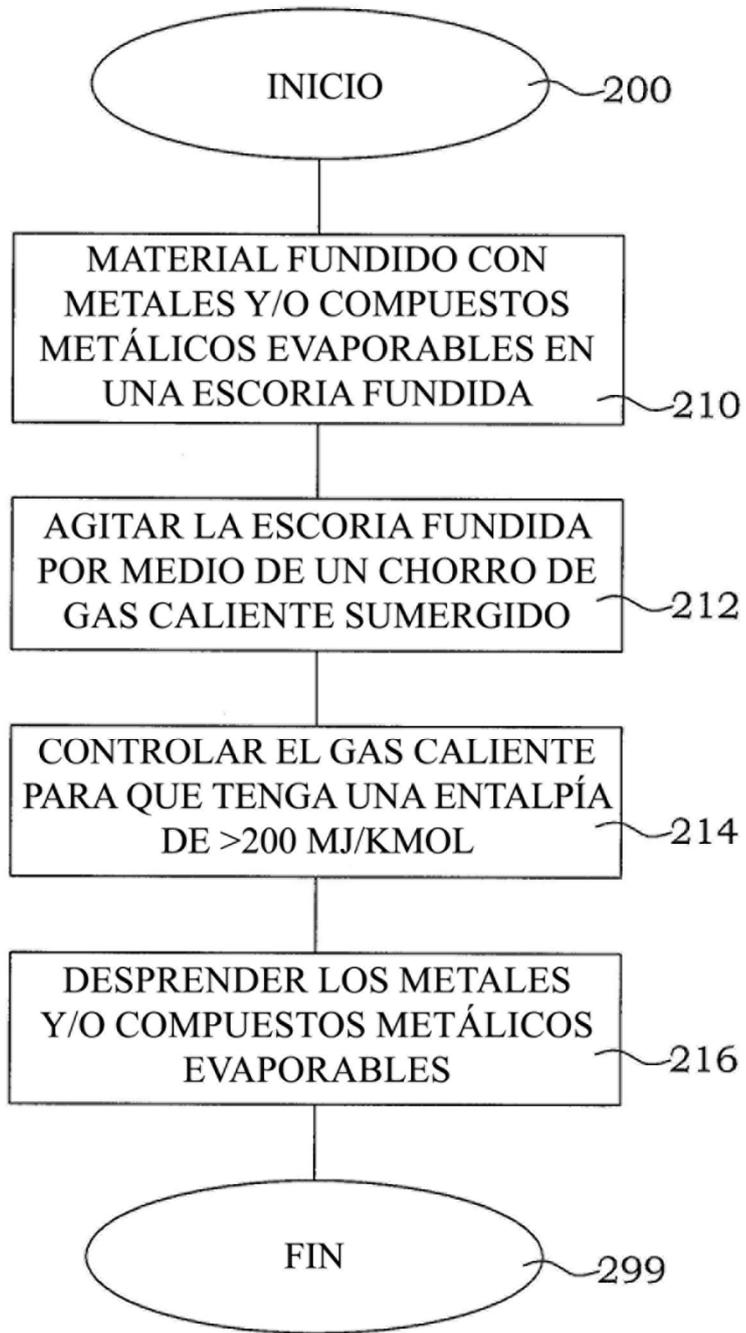


Fig. 2