

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 969 731**

51 Int. Cl.:

F27B 3/20	(2006.01)
C22B 4/00	(2006.01)
C22B 5/16	(2006.01)
C22B 7/00	(2006.01)
C22B 7/04	(2006.01)
F27B 3/22	(2006.01)
F27D 99/00	(2010.01)
C21B 13/12	(2006.01)
C21B 3/06	(2006.01)
C21B 13/00	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.11.2020 PCT/EP2020/082953**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **27.05.2021 WO21099598**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.11.2020 E 20808004 (4)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.12.2023 EP 4062117**

54 Título: **Horno de volatilización inducido por plasma mejorado**

30 Prioridad:

22.11.2019 EP 19210907

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
22.05.2024

73 Titular/es:

**AURUBIS BEERSE (100.0%)
Nieuwe Dreef 33
2340 Beerse, BE**

72 Inventor/es:

**CHINTINNE, MATHIAS;
DE VISSCHER, YVES;
GEENEN, CHARLES y
COLETTI, BERT**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 969 731 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

Horno de volatilización inducido por plasma mejorado

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere al campo de la recuperación pirometalúrgica de metales no ferrosos, tales como cobre, plomo, estaño y zinc, de materias primas primarias y/o secundarias, también conocidas como materiales reciclables, o de combinaciones de las mismas. Más particularmente, la invención se refiere a la recuperación de metales volátiles, tales como zinc y plomo, de un baño de escoria y/o metal fundido, mediante una etapa del procedimiento que normalmente se denomina volatilización.

Antecedentes de la invención

10 Los procedimientos de producción de metales no ferrosos tales como cobre, níquel, plomo, estaño y zinc, normalmente contienen al menos una y normalmente una pluralidad de etapas de procedimiento pirometalúrgico en las que tanto los metales como los óxidos metálicos están en un estado fundido líquido, y en los que los óxidos metálicos se pueden separar por gravedad como una fase de escoria líquida de menor densidad y separada de la fase de metal fundido de mayor densidad. Si la fase de escoria es pobre en metales valiosos, la fase de escoria generalmente se retira como
15 una corriente separada del procedimiento, y esta separación puede conducir a la producción de una escoria como coproducto de la producción de metal, un coproducto que también puede denominarse "escoria terminal" o "escoria final".

Las publicaciones internacionales WO 2013/133748 A1 y US 2015/0040722 A1 describen un procedimiento de
20 reducción de fundición de dos etapas para la producción de hierro fundido a partir de materias primas que llevan óxido de hierro. Las materias primas se procesan primero a través de un reactor de fusión y posteriormente a través de un reactor de reducción de fundición. Las atmósferas en los dos reactores se mantienen estrictamente separadas, de modo que en el reactor de reducción de fundición se pueden mantener condiciones fuertemente reductoras con el fin de aumentar el rendimiento de la reducción a hierro fundido líquido, mientras que en el reactor de fusión se pueden
25 mantener condiciones más neutras, de modo que se puede hacer un mejor uso de la energía de combustión de la quema de sustancias que contienen carbono. El reactor de reducción de fundición se calienta mediante generadores de plasma sumergidos y la atmósfera reductora se obtiene mediante la adición de un agente reductor tal como carbón o coque de petróleo. La reacción produce una mezcla de gases combustibles que comprende CO y/o H₂ y normalmente también contenidos bajos de CO₂ y H₂O. Esta mezcla de gases, después de limpiar de impurezas, comprende principalmente de CO y/o H₂, y se recicla parcialmente al generador de plasma que calienta el reactor de reducción
30 de fundición. El resto de la mezcla de gases se utiliza para calentar el reactor de fusión por combustión adicional, por medio de otro generador de plasma sumergido y/o por inyección de un gas que contiene oxígeno y la mezcla de gases combustibles en una tobera debajo de la superficie del contenido del horno de fusión. Cualquier azufre en la materia prima que contiene hierro normalmente se eliminará en el reactor de fusión, ya sea en los gases del reactor o como parte de una fase de mata. El cobre presente en la materia prima normalmente se separará como cobre metálico y/o
35 mata en el fondo del reactor de fusión. El procedimiento puede tener una emisión mucho menor de CO₂ que un procedimiento de alto horno convencional. Los documentos WO 2013/133748 A1 y US 2015/0040722 A1 no dicen nada sobre cualquier extracción o volatilización de un metal o compuesto metálico evaporable, y el equipo descrito no se proporciona para la recuperación del mismo como un producto separado. Por tanto, el horno descrito no es adecuado para la volatilización de un metal o compuesto metálico evaporable de una carga metalúrgica.

40 El documento US 4,601,752 describe un procedimiento menos complejo para fabricar metales y/o generar escoria, ilustrado para la producción de ferrocromo a partir de mineral de cromita. El mineral de óxido finamente pulverizado, posiblemente junto con formadores de escoria, se trata en un reactor de una sola cámara que comprende tres zonas, una zona de oxidación superior en la que el material se precalienta y posiblemente se funde por la combustión de monóxido de carbono y gas hidrógeno que se elevan desde la zona media debajo con un gas que contiene oxígeno,
45 una zona media que consiste en un baño de escoria en el que el material de óxido precalentado y posiblemente fundido se reduce al menos parcialmente mediante la inyección simultánea de material carbonoso y/o material que contiene hidrocarburos y energía térmica suministrada principalmente a través de generadores de plasma, y una zona inferior en el fondo del reactor en la que se hunde el metal formado durante el procedimiento de reducción y de la que se puede extraer el producto metálico y el subproducto de escoria. El gas que contiene oxígeno que se introduce en la zona media es oxígeno 99,5% en peso puro. La adición de oxígeno se controla para generar energía suficiente para precalentar y fundir el mineral y los aditivos añadidos en la cámara, y esto en la atmósfera más oxidante que rige en las zonas media y superior del reactor de cámara. La energía suministrada a través de los generadores de plasma se controla para dirigir las reacciones endotérmicas entre la escoria y el carbono, bajo la atmósfera reductora que rige en la parte inferior del reactor de cámara. La mayor parte de los gases de escape del horno se trata para eliminar H₂O y
55 CO₂, y regresa al horno como gas de alimentación para el generador de plasma. El resto de los gases de escape se retira del procedimiento para su uso como combustible. El documento US 4,601,752 no dice nada sobre cualquier extracción o volatilización de un metal o compuesto metálico evaporable, y el equipo descrito no se proporciona para la recuperación del mismo como un producto separado. El balance de materiales en la Figura 2 demuestra que no se introduce en el horno ningún gas distinto del gas de plasma y el gas oxígeno. Por lo tanto, este horno tampoco es
60 adecuado para la volatilización de un metal o compuesto metálico evaporable de una carga metalúrgica.

La publicación internacional WO 2016/078959 A1 describe un horno de baño único para fundir cargas metalúrgicas y separar metales en condiciones flexibles de oxidorreducción. El horno se ha equipado con un soplete o quemador de plasma de 3 MW y además también con un quemador convencional llamado "oxigás" de 1,5 MW. El aparato permite realizar etapas de oxidación y etapas de reducción en el mismo horno. El documento propone utilizar el modo de oxigás para fundir y/o para ejecutar condiciones ligeramente reductoras o cualesquiera oxidantes en el horno de fundición, y utilizar el modo de plasma para ejecutar las condiciones altamente reductoras. Si se necesita un consumo de energía muy elevado, las dos tecnologías de calentamiento también pueden funcionar simultáneamente.

Las escorias finales que se extraen de los procedimientos pirometalúrgicos que producen metales no ferrosos normalmente se enfrían, se granulan y se trituran/clasifican por tamaños, y pueden usarse en la producción de cemento, como sustituto de rocas y grava o como un agregado en la construcción de carreteras. Cuando se muelen, las escorias también pueden ser de interés para su uso como arena para chorreado o granalla para chorreado.

Algunas de las sustancias que pueden encontrarse en los productos de escoria conocidos en la técnica se consideran potencialmente dañinas para el medio ambiente. Principalmente el plomo, pero en cierta medida también el zinc, son ejemplos principales de este tipo de sustancias no deseadas. Tanto el zinc como el plomo son metales que pueden estar presentes al menos parcialmente en formas que pueden lixiviar de la escoria, y la presencia de niveles significativos de los mismos impide muchos usos del producto de escoria, en particular en las aplicaciones económicamente más atractivas, y puede hacer que la eliminación de dichas escorias en los vertederos sea mucho más compleja y difícil, debiendo considerarse normalmente "residuos peligrosos". La aceptación del uso en determinadas aplicaciones se determina a menudo probando el comportamiento de lixiviación de las escorias. Normalmente, elementos tales como el Pb y el Zn son más propensos a lixiviar y pueden hacer que una escoria en particular no supere dichas pruebas de aceptación.

Además, los autores de la invención han descubierto que niveles de zinc del orden de 5% en peso y superiores en las escorias ralentizan significativamente el endurecimiento del hormigón y otras composiciones de construcción tales como cementos, cuando las escorias se utilizan en tales composiciones de construcción. Este efecto en la velocidad de endurecimiento representa un impedimento para el uso de escorias que contienen cantidades significativas de Zn, como material cementicio y/o como agregado en hormigones o cementos.

Por al menos algunas de las razones anteriores, los productores de metales no ferrosos han intentado reducir los niveles de zinc, y si está presente también del plomo, en sus subproductos de escoria, a menudo por medio de una etapa llamada "volatilización".

Michael Borell, en "Slag - a resource in the sustainable society", durante "Securing the Future", una Conferencia Internacional sobre Minería y los Metales Ambientales y Recuperación de Energía, que tuvo lugar en Skellefteå, Suecia en 2005, págs. 130-138 de las actas, describe cómo, ya desde los años 1960, la escoria líquida de un horno de fundición eléctrico que produce una mata de cobre puede ser tratada con gases reductores en un horno de volatilización de escoria, también conocido como "Volatilizador (*Box fumer*)", una etapa del procedimiento discontinuo en donde el contenido de zinc en la escoria de fundición de cobre, y en el material de reciclaje de zinc adicional, se reduce al 1,2% en peso. La escoria volatilizada se limpia adicionalmente en un horno de sedimentación donde a las gotas restantes de aleación de cobre y sulfuro de cobre se les da un tiempo de permanencia para separarlas en una fase líquida más pesada antes de que la escoria se granule, se separe el agua y se pueda vender para fines de construcción de carreteras y para chorreado. Los gases reductores para el volatilizador se obtienen mezclando cuidadosamente carbón pulverizado con el aire primario inyectado en el horno. El problema de este tipo de volatilización es que la reacción del carbón con el aire tiene que permanecer limitada para producir principalmente monóxido de carbono, con el fin de mantener las condiciones reductoras, y por lo tanto deja la mayor parte del calor de reacción, es decir, la parte que se genera por las sucesivas reacciones que oxidan el monóxido de carbono a dióxido de carbono, no disponible en el núcleo del horno para impulsar reacciones endotérmicas tales como la reducción de óxidos metálicos, tales como óxido de zinc, al metal elemental que puede ser separado del baño líquido. Otra desventaja de un volatilizador son los grandes volúmenes de gases de escape del horno que se generan y que deben enfriarse, filtrarse y tratarse para la recuperación de los metales volatilizados y para su limpieza antes de su emisión a la atmósfera.

El documento US 4,588,436 describe un método para recuperar metales de un lote de escoria líquida en forma metálica o sulfurosa mediante reducción con un agente reductor carbonoso, proporcionándose la energía térmica necesaria para mantener la temperatura y realizar la reducción y sulfuración soplando gas precalentado en un generador de plasma debajo de la superficie del baño de escoria. El vapor de metales volátiles se condensa en un condensador y se recupera como metal líquido. Los metales no volátiles y los sulfuros formados se recogen en forma de gotas fundidas que se dejan decantar de la escoria. Es necesario mantener necesariamente las condiciones reductoras durante todo el procedimiento como se describe hasta aguas abajo después del condensador, para permitir la condensación de los metales volátiles en el condensador como un producto metálico líquido. Los vapores del horno que contienen los metales volátiles también representan un riesgo importante para la seguridad. Son muy reactivos y tienen una temperatura alta. Cualquier entrada de aire, por pequeña que sea, provocará que los vapores se autoinflamen y posiblemente incluso exploten.

En "ScanArc's Development of Plasma Based Processes for Recovery of Metals and Heat Energy from Waste and Hazardous Waste Materials", presentado en el Taller internacional sobre tecnologías de plasma para la destrucción de residuos peligrosos, Como, Italia, del 12 al 15 de septiembre. 1992, la empresa ScanArc Plasma Technologies AB propuso un generador de plasma sumergido de tipo no transferido para la reducción de escorias de la industria metalúrgica mediante volatilización, mediante el cual se podría reducir el contenido de metales pesados, recuperar los metales y producir una escoria vitrificada no lixivante. El generador de plasma puede funcionar con la mayoría de los gases, a cualquier potencial de oxígeno elegido, para generar una entalpía utilizable muy alta manteniendo al mismo tiempo los flujos de gas relativamente bajos, también con una mezcla de gases pobres, y por lo tanto ofrece una importante ventaja de flexibilidad. S.O. Santén presentó una historia muy similar en el 21º Simposio McMaster sobre Fabricación de Hierro y Acero, "Pretreatment and Reclamation of Dusts, Sludges and Scales", celebrado en la Universidad McMaster, Hamilton, Ontario, Canadá, del 11 al 13 de mayo de 1993. La tecnología fue aplicada comercialmente, entre otras cosas, en Noruega por Energy Recycling AS (ERAS) en el sitio de Høyanger Sink Gjenvinning AS, como lo atestigua la Solicitud de Permiso Ambiental "Recovering of Metal Values from EAF Dust by the Arcflashfuming Process", presentado el 10 de octubre de 2002 y se puso a disposición del público unas dos semanas antes de la audiencia pública que se celebró sobre el tema el 31 de octubre de 2002. La solicitud también es muy detallada sobre el procedimiento en sí, las composiciones de las materias primas y los productos, incluidos los componentes del fundente, también conocidos como formadores de escoria, sobre parámetros operativos y sobre diseño de equipos.

La publicación internacional WO 2005/031014 A1 también describe un reactor de volatilización de este tipo para tratar residuos que llevan Zn utilizando una tobera sumergida alimentada por plasma unida a un soplete de plasma como fuente de calor y gas. La publicación internacional WO 2008/052661 A1 describe un procedimiento para la volatilización de Zn utilizando un soplete de plasma sumergido que genera una mezcla de gases oxidantes, en donde se alimenta un agente reductor sólido a la masa fundida.

La publicación internacional WO 2016/046593 A1 describe la fundición y volatilización de una carga metalúrgica utilizando un chorro de gas caliente de un soplete de plasma sumergido, de modo que el gas caliente (más correctamente "el plasma") producido tiene una entalpía de al menos 200 MJ/kmol. La publicación internacional WO 2016/156394 A1 describe un procedimiento para la volatilización de zinc de una escoria metalúrgica utilizando un soplete de plasma sumergido, de modo que el contenido de zinc de la escoria producida era como máximo del 1,00% en peso y la escoria limpia aportaba la ventaja de un endurecimiento rápido cuando la escoria estaba finamente molida y se utilizaba como un aglutinante activo, en una mezcla 50/50 con silicato sódico, para la fabricación de baldosas.

Los hornos para la volatilización por plasma descritos en los documentos anteriores utilizaban como fuente de calor únicamente generadores de plasma, es decir, quemadores que generan calor a temperaturas muy altas mediante el consumo de electricidad, una fuente de energía que en muchos países es bastante cara.

Sin embargo, los autores de la invención han descubierto que el flujo de gas que puede producir un generador de plasma a escala industrial sigue estando limitado con el fin de mantener el arco eléctrico en funcionamiento y estable, y con el fin de que el contenido de entalpía del gas caliente del generador de plasma permanezca suficientemente alto para formar el plasma deseado. Esto se explica con más detalle más adelante en este documento. Por lo tanto, existe un límite en la cantidad de gas de extracción que puede hacer accesible un generador de plasma para extraer las sustancias evaporables del baño líquido en el horno. Esto limita también la agitación que el gas inyectado desde los generadores de plasma puede producir en el baño líquido contenido en el horno.

En la volatilización de escoria, se favorecen las condiciones fuertemente reductoras, porque puede ser necesario reducir el óxido de zinc y otros metales evaporables a sus respectivas formas elementales para que los metales se vuelvan evaporables. Se pueden obtener condiciones fuertemente reductoras añadiendo al menos un agente reductor, que puede ser un gas, un líquido, un sólido o una combinación de los mismos, preferiblemente un agente reductor sólido, preferiblemente carbono, y este se puede añadir al gas de plasma caliente que se inyecta en el horno. Sin embargo, debido a la pequeña cantidad de gas de plasma disponible por generador de plasma, este método de introducción de agente reductor adicional sigue siendo limitado. Se puede añadir después más agente reductor adicional al horno dejando caer preferiblemente un agente reductor sólido sobre la superficie del baño a través de la abertura de llenado del horno.

Sin embargo, este método adicional para introducir agente reductor adicional deja mucho que desear.

Con este método de adición no se puede introducir un agente reductor gaseoso, tal como gas natural, a través de la abertura de llenado del horno, ya que éste no alcanzaría el baño líquido en donde se supone que debe suministrar su actividad reductora, ya que esto requeriría que el agente reductor gaseoso viajara contra el flujo de los gases de escape del horno. La inyección de un agente reductor líquido, tal como fuelóleo, también es menos preferida, porque su vaporización produce una gran expansión volumétrica, produciendo la formación de espuma y salpicaduras en el horno, y parte del agente reductor puede ser arrastrado con los gases de escape antes de que pueda realizar la función prevista. Por tanto, la elección de agentes reductores adecuados es bastante limitada.

5 El agente reductor adicional que se añade convencionalmente a través de la abertura de llenado y de salida en la parte superior del horno tiene que viajar hacia abajo a través del espacio de gas en la parte superior del horno antes de poder alcanzar la superficie del líquido. Justo antes de que los gases del horno entren en la tubería de escape, normalmente se introduce aire adicional para oxidar los metales elementales o compuestos metálicos vaporizados a sus correspondientes óxidos metálicos. Los óxidos tienen puntos de ebullición y puntos de fusión mucho más altos que los metales correspondientes. Los óxidos formados aparecen fácilmente como polvo de gas de combustión arrastrado y pueden recuperarse como tales después aguas abajo en el sistema de gases de escape del horno. Durante su viaje a través de la parte superior del horno, el agente reductor adicional se pone así en contacto con el aire y, a las altas temperaturas en el horno, al menos una parte del agente reductor puede oxidarse fácilmente antes de que la parte restante pueda alcanzar la superficie del baño líquido. El calor generado por esta oxidación tampoco llega al baño líquido, sino que permanece con los gases de escape. Este calor, en lugar de ser beneficioso, se convierte en una carga adicional para el sistema de tratamiento de gases de escape.

10 El agente reductor adicional que puede llegar a la superficie del baño líquido no puede realizar su función correctamente a menos que se mezcle bien con el baño líquido. Sin embargo, el flujo de gas procedente de los generadores de plasma no produce una agitación muy intensa del baño.

15 El agente reductor adicional también tiene que poder viajar hacia abajo a través del espacio de gas del horno, contra el flujo ascendente de gas de extracción, antes de que pueda alcanzar la superficie del baño líquido. Por lo tanto, el tamaño de partículas o gotas del agente reductor sólido o líquido tiene que ser suficientemente alto, de modo que se evite un arrastre excesivo de las partículas y/o gotas con el gas de extracción al sistema de tratamiento de gases de escape. Sin embargo, las partículas grandes ofrecen una superficie limitada por unidad de masa y, por lo tanto, son menos reactivas cuando se mezclan en el baño líquido. La mayoría de los agentes reductores, tales como el carbón sólido, tienen una densidad mucho menor que el baño líquido del horno. Las partículas más grandes presentan una mayor flotabilidad y por lo tanto tienen una mayor tendencia a flotar sobre la parte superior del baño líquido, lo que reduce aún más la superficie de contacto entre el agente reductor sólido y el baño líquido.

20 Por lo tanto, este método adicional para añadir agente reductor adicional adolece de una falta significativa de eficiencia así como de eficacia.

25 Por lo tanto, los procedimientos y hornos de volatilización generados por plasma conocidos en la técnica dejan mucho que desear. Sigue existiendo la necesidad de un procedimiento y un aparato de volatilización mejorados impulsados por plasma que ofrezcan una mayor tasa de volatilización, en particular mediante más agitación del baño y/o más gas de vaporización, así como la posibilidad de introducir agente reductor adicional de una manera más eficiente y más efectiva.

30 La presente invención tiene como objetivo obviar o al menos mitigar el problema descrito anteriormente y/o proporcionar mejoras en general.

Sumario de la invención

35 Según la invención, se proporciona un aparato y un procedimiento como se define en cualquiera de las reivindicaciones adjuntas.

40 La expresión carga metalúrgica en el contexto de la presente invención representa una amplia familia de composiciones que pueden aparecer, como o como parte de, un contenido de horno o carga de horno en cualquier momento durante una etapa del procedimiento pirometalúrgico, preferiblemente una etapa que es parte del procedimiento de producción para un metal no ferroso.

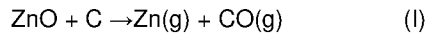
45 Preferiblemente, la carga metalúrgica es una primera escoria, y el producto obtenido del procedimiento según la presente invención es una segunda escoria que tiene un contenido de al menos un metal o compuesto metálico evaporable que se reduce en comparación con el contenido del mismo metal o compuesto metálico evaporable en la primera escoria.

La presente invención proporciona el uso del horno según la presente invención para volatilizar al menos un metal o compuesto metálico evaporable de una carga metalúrgica.

50 Los autores de la invención han descubierto que la volatilización de un metal o compuesto metálico evaporable de una carga metalúrgica en la que la etapa de volatilización utiliza los primeros gases calientes de calidad plasma procedentes de un soplete de plasma inyectados en el baño líquido de fundido mediante un primer inyector sumergido, se puede mejorar significativamente inyectando gas adicional a través de al menos un segundo inyector sumergido en el baño líquido de fundido.

55 Los autores de la invención han descubierto que el gas adicional introducido a través de un inyector sumergido adicional proporciona un punto de inyección adicional y un volumen de gas adicional para extraer el metal o compuesto metálico evaporable de la carga metalúrgica fundida. Los autores de la invención han descubierto que, con solo el volumen del plasma o gases calientes procedentes de los sopletes de plasma para extraer el zinc de una escoria de fundición de cobre, la concentración de zinc en las burbujas de gas que ascienden a través del baño de escoria fundida

puede alcanzar valores de hasta tan altos como 40% molar. Debido a que, en el mejor de los casos, se puede alcanzar un equilibrio para la reacción de volatilización de zinc (I),



5 a pesar de la constante de equilibrio favorable que disfruta el procedimiento a las temperaturas muy altas de los gases calientes de calidad plasma del soplete de plasma, el alto nivel de Zn en las burbujas de gas tiene como consecuencia que aún quede una cantidad apreciable de óxido de zinc en el baño líquido. Los autores de la invención han descubierto que esta concentración en la fase gaseosa puede reducirse significativamente mediante la presente invención, debido al gas adicional que se hace accesible para la extracción por medio de un inyector adicional, y además debido a la mayor presencia del agente reductor en todo el baño líquido que permite lograr. Debido a que la cantidad de gases calientes que puede producir un soplete de plasma es limitada, los autores de la invención han descubierto que es ventajoso inyectar gas adicional en el baño de líquido fundido, y particularmente ventajoso debido a la inyección a través de al menos un segundo inyector sumergido, diferente del primer inyector sumergido.

15 Otra ventaja de la presente invención también es, por lo tanto, que la invención proporciona al menos otro punto de inyección de gas sumergido en el baño líquido de fundido. Esto trae la ventaja de una agitación adicional del baño líquido de fundido dentro del horno, lo que mejora la mezcla en el baño, da como resultado una distribución más uniforme de la temperatura y de cualquier agente reductor que pueda introducirse en el horno y, por lo tanto, también promueve las reacciones químicas que están teniendo lugar, así como la obtención una distribución más uniforme del metal o compuesto metálico reducido formado por reacción con el agente reductor. Por lo tanto, el punto de inyección de gas adicional sumergido aporta también a través de estos mecanismos una mejora de la operación de volatilización.

20 Otra ventaja más de la presente invención es que proporciona al menos un medio adicional para introducir más agente reductor en el baño líquido de fundido dentro del horno. Debido a que el al menos un segundo inyector es también un inyector sumergido, este medio adicional ofrece al mismo tiempo una selección más amplia de agente reductor adecuado en comparación con la adición de un agente reductor sólido en partículas grandes y/o líquido a través de la abertura de llenado y salida en la parte superior del horno. Donde con los medios convencionales cualquier partícula de coque que caiga en el horno a través de la abertura de llenado debería tener preferiblemente un tamaño medio de partículas en el intervalo de al menos 6 mm, de modo que la mayoría de las partículas pueden caer en el horno y ser arrastradas con los gases de escape que salen del horno por la misma abertura sigue siendo limitado, el segundo inyector sumergido ofrece una selección mucho más amplia de agente reductor adecuado. El agente reductor introducido a través del segundo inyector sumergido puede ser un gas, un líquido, un sólido o combinaciones de los mismos y, cuando es sólido, el agente reductor puede tener una granulometría mucho más fina, lo que ofrece ventajas adicionales de una alta relación superficie/volumen y una mayor superficie de contacto y por tanto una mayor reactividad cuando el agente entra en contacto con el baño líquido de fundido dentro del horno. La introducción sumergida del agente reductor aporta también la ventaja de un contacto más íntimo entre el agente reductor y el baño líquido. Esta ventaja se aplica a todos los estados de la materia del agente reductor, pero resulta ser particularmente destacada cuando el agente reductor es un sólido, en particular un sólido finamente dividido.

35 Por lo tanto, la presente invención consigue más que simplemente proporcionar más gas de extracción para extraer el metal o compuesto metálico evaporable de la carga metalúrgica. Un efecto adicional es la agitación adicional del baño, que conduce a una mayor homogeneidad en el baño dentro del horno, y otro beneficio adicional es la posibilidad de inyectar más agente reductor y opcionalmente también diferente y más eficaz de una manera más eficiente. Estos efectos adicionales contribuyen a una volatilización aún mejor debido a las condiciones mejoradas que favorecen las reacciones químicas previstas.

Descripción detallada

45 La presente invención se describirá a continuación en realizaciones particulares, y con posible referencia a dibujos particulares, pero la invención no está limitada por los mismos, sino únicamente por las reivindicaciones. Cualesquiera dibujos descritos son sólo esquemáticos y no limitativos. En los dibujos, el tamaño de algunos de los elementos puede estar exagerado y no dibujado a escala con fines ilustrativos. Las dimensiones y las dimensiones relativas en los dibujos no corresponden necesariamente a reducciones reales para la práctica de la invención.

50 Además, los términos primero, segundo, tercero y similares en la descripción y en las reivindicaciones se utilizan para distinguir entre elementos similares y no necesariamente para describir un orden secuencial o cronológico. Los términos son intercambiables en circunstancias apropiadas y las realizaciones de la invención pueden operar en otras secuencias distintas a las descritas y/o ilustradas en el presente documento.

55 Además, los términos superior, inferior, encima, debajo y similares en la descripción y las reivindicaciones se utilizan con fines descriptivos y no necesariamente para describir posiciones relativas. Los términos así utilizados son intercambiables en circunstancias apropiadas y las realizaciones de la invención descritas en el presente documento pueden funcionar en otras orientaciones que las descritas o ilustradas en el presente documento.

El término "que comprende", tal como se utiliza en las reivindicaciones, no debe considerarse limitado a los elementos que se enumeran en su contexto. No excluye que existan otros elementos o etapas. Debe considerarse la presencia proporcionada de estas características, números enteros, etapas o componentes según sea necesario, pero no excluye la presencia o adición de una o más características, números enteros, etapas o componentes, o grupos de los mismos. Por lo tanto, el volumen de "un artículo que comprende los medios A y B" no puede limitarse a un objeto que esté compuesto únicamente por los agentes A y B. Significa que A y B son los únicos elementos de interés para la materia en relación con la presente invención. Según esto, los términos "comprenden" o "integran" incluyen también las expresiones más restrictivas "que consiste esencialmente en" y "consiste en". Al reemplazar "comprenden" o "incluyen" por "consisten en", estos términos representan la base de realizaciones preferidas pero restringidas, que también se proporcionan como parte del contenido de este documento con respecto a la presente invención.

A menos que se especifique lo contrario, todos los intervalos proporcionados en el presente documento incluyen hasta e incluyendo los puntos finales dados, y los valores de los constituyentes o componentes de las composiciones se expresan en porcentaje en peso o % en peso de cada ingrediente en la composición.

Como se usa en el presente documento, "porcentaje-peso", "%-peso", "porcentaje en peso", "% en peso", "ppm-peso", "ppm en peso", "ppm en peso" o "ppm" y variaciones de los mismos, se refieren a la concentración de una sustancia como el peso de esa sustancia dividido por el peso total de la composición y multiplicado por 100 o 1 000 000, según corresponda, a menos que se especifique lo contrario. Se entiende que, como se usa aquí, "porcentaje", "%" pretenden ser sinónimos de "porcentaje en peso", "% en peso", etc.

Cabe señalar que, tal como se utiliza en esta memoria descriptiva y en las reivindicaciones adjuntas, las formas singulares "un", "una" y "el", "la" incluyen referentes en plural a menos que el contenido indique claramente lo contrario. Así, por ejemplo, la referencia a una composición que contiene "un compuesto" incluye una composición que tiene dos o más compuestos. También cabe señalar que el término "o" se emplea generalmente en el sentido que incluye "y/o" a menos que el contenido indique claramente lo contrario.

Además, cada compuesto utilizado en el presente documento puede comentarse indistintamente con respecto a su fórmula química, nombre químico, abreviatura, etc.

El plasma se considera el 4.^o estado de la materia, completando la serie formada por sólido, líquido y gas con una categoría extra en el lado de alta energía. A medida que aumenta la temperatura de un gas, al menos una parte de los átomos se separan en iones y electrones, y se forma un gas ionizado, que es "un plasma", pero puede denominarse gas de plasma caliente, o incluso por otras fuentes simplemente un "gas caliente". La ionización de los átomos puede ser parcial o puede ser total, y la transición del gas al plasma es bastante nítida. Una característica definitoria de un plasma es que la ionización debe ser sostenida, lo que implica una temperatura alta.

En un soplete de arco de plasma no transferido, el arco de plasma se genera entre dos electrodos dentro de un cuerpo de soplete a través del cual fluye un gas que se convierte en plasma mediante la energía disipada por el arco eléctrico. Los sopletes de plasma no transferido contrastan con el plasma transferido donde la sustancia a procesar se coloca en un recipiente metálico conectado a tierra y actúa como ánodo, por lo que el material reactivo debe ser un material conductor de electricidad. En el plasma transferido, el ánodo también puede estar hecho de carbón. Sin embargo, un electrodo de carbón tiene la desventaja de fijar las condiciones reductoras, reduciendo así fuertemente la versatilidad del equipo con respecto al procedimiento de volatilización.

Con el fin de obtener un plasma, el contenido de entalpía del gas de plasma producido por el generador de plasma debe ser de al menos 1 kWh/Nm³. Por lo tanto, los gases calientes de calidad de plasma tienen un contenido de entalpía de al menos 1 kWh/Nm³. Las antorchas de plasma conocidas en la técnica pueden tener una potencia de hasta 5 o incluso 7 MW. Una antorcha de plasma más típica suministra aproximadamente 3 MW, lo que significa que no es posible que genere más de 3000 Nm³ de gases calientes de calidad plasma. Un régimen de operación más típico suministra un plasma que tiene un contenido de entalpía en el intervalo de 3,5 a 5,5 kWh/Nm³, lo que significa que una antorcha de plasma de 3 MW normalmente produce en el intervalo de 600 y 800 Nm³/h de gases calientes de calidad plasma. Por lo tanto, una antorcha de plasma con una determinada potencia eléctrica no es capaz de producir más que un volumen correspondiente de gases calientes de calidad plasma.

En el contexto de un soplete de plasma, los volúmenes de gases especificados solo representan los volúmenes de gases que se alimentan al soplete de plasma y están en condiciones estándar/normales. Los volúmenes especificados en el contexto de la presente invención para los volúmenes de gases calientes de calidad plasma producidos por un generador de plasma (PG) incluyen sólo el gas que ha pasado a través del propio PG, es decir, lo que se denomina "gas primario" o el "volumen de gas primario". Por lo tanto, no tienen en cuenta ningún gas adicional que además pueda alimentarse directamente a la tobera aguas abajo, lo que en el contexto de la presente invención se denominan "volúmenes de gas secundario" y que normalmente se mezclan con los gases calientes de calidad plasma procedentes del generador de plasma y que se inyectan junto con estos en el baño. Después de esta mezcla, es muy posible que el gas mezclado ya no cumpla con el calificativo "calidad plasma", porque el contenido de entalpía por unidad de volumen puede que ya no cumpla con el límite inferior especificado en otra parte de este documento para dichos gases. Todos estos números de volúmenes de gases se expresan en condiciones "normales". Por lo tanto, tampoco tienen en cuenta ningún cambio volumétrico que pueda ocurrir por cambios de temperatura, presión, reacción química

o cambio de fase que pueda ocurrir en el generador de plasma o en la tobera aguas abajo del mismo.

Por inyector sumergido se entiende una tubería o tobera de conexión entre una fuente de gas y un punto de inyección que está ubicado debajo del nivel del baño o nivel de líquido determinado en un horno, por lo tanto en una posición sumergida o una posición destinada a estar sumergida durante la operación. Esto asegura un contacto más directo e intensivo entre el gas y la masa fundida.

Las toberas o inyectores deberían ser preferiblemente cortos, para provocar un mínimo desgaste. Esto también garantiza bajas pérdidas térmicas. Las toberas pueden enfriarse con el fin de reducir su desgaste en condiciones de temperatura severas. Las toberas se pueden montar horizontalmente, perforando la pared del horno por debajo del nivel del baño. Las antorchas o quemadores, ya sean de encendidos por plasma u oxigás, que pueden alimentar las toberas, están entonces situados fuera del horno en una posición sumergible (también conocida como "sumergida"). Preferiblemente, cuando en el horno está presente un baño líquido de una carga metalúrgica, se alimentan constantemente con gas para evitar que la masa fundida retroceda en la tobera, lo que de otro modo podría provocar la inmersión de la tobera, produciendo posibles daños graves a la tobera y posiblemente también al soplete o quemador que pueda estar alimentando la tobera. Alternativamente, las toberas pueden montarse en un ángulo, soplando todavía dentro del baño, pero permitiendo que los quemadores o sopletes residan por encima del nivel del baño y fuera del horno. Esta disposición da como resultado toberas ligeramente más largas, pero se pueden disponer de manera que también garantice que ninguna materia fundida pueda retroceder en los quemadores o antorchas. Aunque esto puede ser menos recomendable en hornos grandes, las toberas también podrían colocarse verticalmente. Las toberas para inyectar el gas adicional pueden estar dispuestas de manera similar, es decir, sumergidas y perforando la pared del horno, perpendiculares o en un ángulo diferente con respecto a la pared del horno.

Por soplete de plasma no transferido se entiende un generador térmico de gas que utiliza un soplete de plasma mediante el cual se mantiene un arco eléctrico entre los electrodos internos de la unidad del soplete. Se introduce un gas a través de un puerto de entrada en una cámara de flujo, en donde se mantiene un arco eléctrico. El gas se calienta hasta temperaturas extremas y se expulsa como gases calientes de calidad plasma, siendo al menos parcialmente un plasma, a través de un puerto de salida.

Entre el soplete de plasma y el punto de inyección en el horno, se pueden añadir sustancias adicionales al flujo desde el soplete hasta el punto de inyección, tales como gas envolvente o gas de dilución. En el contexto de la presente invención, la cantidad de gases calientes generados por un soplete de plasma debe incluir solo el gas primario que pasa por el generador de plasma y excluir la adición de gas secundario, tal como cualquier gas adicional u otra sustancia que pueda añadirse entre el propio soplete de plasma y el punto de inyección o tobera a través del cual se inyectan en el horno los primeros gases calientes de calidad plasma procedentes del soplete de plasma.

Por quemador de oxigás se entiende un generador térmico de gas que mezcla y quema un combustible que contiene carbono y un gas que contiene oxígeno. Con el fin de alcanzar fácilmente las altas temperaturas necesarias para el correcto funcionamiento del quemador de oxigás, el gas que contiene oxígeno es preferiblemente rico en oxígeno, más preferiblemente oxígeno sustancialmente puro con niveles bajos de componentes inertes. Esto no sólo conduce a temperaturas de llama más altas, sino que también reduce la cantidad de gases inertes que entran y deben ser manejados por el sistema de gases de escape del horno. La zona de mezcla del quemador de oxigás está dentro de la unidad de quemador, mientras que la zona de combustión del quemador de oxigás puede ser interna o externa a la unidad de quemador.

La carga metalúrgica en el contexto de la presente invención puede ser cualquier composición que se pueda estar produciendo en estado fundido líquido en una etapa de procedimiento pirometalúrgico para la producción de un metal no ferroso. Por tanto, la carga metalúrgica puede ser, por ejemplo, una composición de metal fundido que comprende al menos un metal no ferroso, pero también puede ser una fase de escoria fundida que se produce en dicha etapa del procedimiento. La carga metalúrgica puede estar en forma de líquido fundido pero, alternativamente, puede tener una forma sólida de cualquier tipo, p. ej. la carga puede estar en forma de agregados que se pueden obtener enfriando o granulando una fase fundida líquida de un horno en el que se ha realizado la etapa del procedimiento pirometalúrgico.

Una escoria metalúrgica normalmente no es una sustancia pura, sino una mezcla de muchos componentes diferentes. En consecuencia, una escoria metalúrgica no tiene una temperatura de fusión clara. En la técnica se ha vuelto común utilizar el término "temperatura liquidus", que es la temperatura a la que la escoria es completamente líquida.

Como se mencionó en la sección de antecedentes, "volatilización" es una operación que ya se ha utilizado comercialmente en la técnica de la pirometalurgia ya en la década de 1960. El experto en la técnica sabe muy bien que determinados metales o compuestos metálicos pueden evaporarse de una carga metalúrgica mediante extracción con un gas, también llamado "volatilización", y esto a una presión cercana a la atmosférica y, por lo tanto, sin necesidad de un vacío profundo como para destilar plomo del estaño. Esta capacidad se debe a que la presión de vapor del metal o compuesto metálico evaporable es mucho más alta que la de la mayoría del resto de los otros compuestos de la carga. Por lo tanto, en la técnica se considera que un compuesto de este tipo es "evaporable" de la carga metalúrgica.

Ejemplos bien conocidos son la volatilización de zinc de otras composiciones pirometalúrgicas. Esta volatilización de zinc puede incluso realizarse como parte de otra etapa pirometalúrgica, tal como la eliminación de (generalmente una parte del) zinc a través de los vapores de escape generados durante una etapa de fundición de cobre o una etapa de refinación de cobre. Con menos frecuencia, la volatilización se puede realizar como una etapa de procedimiento separada, p.ej. como el "Volatilizador (*Box fumer*)" descrito por Michael Borell o por autores de ScanArc como se comentó anteriormente. Como también se comentó anteriormente, cuando la carga metalúrgica es una escoria, el zinc puede estar presente principalmente en la carga como su óxido no volátil ZnO, de modo que es posible que sea necesario permitir la volatilización reduciendo primero el óxido a metal elemental, un compuesto que puede eliminarse mediante volatilización. Otro ejemplo es la recuperación de plomo y estaño como sus óxidos mediante su volatilización durante la recuperación de cobre a partir de chatarra que contiene cobre, como se comenta en la sección de antecedentes del documento US 3,682,623. También se sabe que elementos tales como bismuto, indio y/o germanio son metales evaporables o que presentan compuestos metálicos que son evaporables en el contexto de la presente invención. Los compuestos metálicos evaporables pueden ser los correspondientes óxidos, cloruros y/o sulfuros.

En este documento y salvo que se especifique lo contrario, las cantidades de metales y óxidos se expresan según la práctica típica en pirometalurgia. La presencia de cada metal generalmente se expresa en su presencia total, independientemente de si el metal está presente en su forma elemental (estado de oxidación = 0) o en cualquier forma químicamente ligada, típicamente en una forma oxidada (estado de oxidación > 0). Para los metales que pueden reducirse con relativa facilidad a sus formas elementales, y que a menudo pueden aparecer como metal fundido en el procedimiento pirometalúrgico, es bastante común expresar su presencia en términos de su forma metálica elemental, incluso cuando se proporciona la composición de una escoria, en donde la mayoría de dichos metales pueden estar realmente presentes en forma oxidada. Por lo tanto, la composición de una escoria tal como la escoria según la presente invención especifica el contenido de Fe, Zn, Pb, Cu, Sb, Bi como metales elementales. Los metales menos nobles son más difíciles de reducir en condiciones pirometalúrgicas no ferrosas y se presentan principalmente en una forma oxidada. Estos metales normalmente se expresan en términos de su forma de óxido más común. Por lo tanto, las composiciones de escoria normalmente dan el contenido de Si, Ca, Al, Na expresado respectivamente como SiO₂, CaO, Al₂O₃, Na₂O.

Debido a que el oxígeno en la escoria que está unido a los metales más nobles no se refleja en la composición que solo proporciona el contenido de metal elemental, una composición de escoria descrita según este método a menudo no se acerca a un total cercano al 100% en peso.

En una realización del aparato u horno según la presente invención, el aparato está equipado para inyectar a través del al menos un segundo inyector una cantidad total de gas adicional que es al menos 10%, preferiblemente al menos 15%, más preferiblemente al menos 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, 50% o 55%, más preferiblemente al menos 60%, preferiblemente al menos 70%, más preferiblemente al menos 75%, 80%, 90%, 100%, 110%, 120%, 125%, 130%, 140%, 150%, 175%, 200%, 225% e incluso más preferiblemente al menos 230% la cantidad de gases calientes de calidad plasma que pueden generarse mediante el elemento individual del al menos un soplete de plasma que tiene la potencia nominal más alta cuando este soplete suministra un plasma que tiene un contenido de entalpía de al menos 3,5 kWh/Nm³, expresado en unidades volumétricas en condiciones normales. Opcionalmente, el aparato está equipado para inyectar a través del al menos un segundo inyector una cantidad de gas adicional que es como máximo 500%, preferiblemente como máximo 450%, más preferiblemente como máximo 400%, 350%, 325%, 300%, 290%, 280%, 275%, 270%, 265%, 260%, 250%, 240%, 230%, 220%, 210%, 200%, 180%, 165%, 150%, 135%, 120%, 110%, 100%, 90%, 80%, 70%, 60%, 50%, 40%, 30% e incluso más preferiblemente como máximo 20% de la cantidad de plasma que puede generarse mediante el elemento individual del al menos un soplete de plasma que tenga la potencia nominal más alta cuando este soplete suministra un plasma con un contenido de entalpía de al menos 3,5 kWh/Nm³, expresado en unidades volumétricas en condiciones normales. Los autores de la invención han descubierto que ya se puede conseguir una ventaja importante de la presente invención inyectando a través del segundo inyector una cantidad de flujo de gas adicional que esté más cerca del límite inferior como se especifica, especialmente cuando el flujo de gas adicional se utiliza como vehículo para agente reductor adicional, en particular cuando se utiliza un polvo fino, tal como polvo de carbón o polvo de coque de petróleo, como agente reductor adicional. Los autores de la invención han descubierto que las ventajas de la presente invención, explicadas en detalle en la sección de compendio anterior, pueden mejorarse aún más cuando se aumenta más la cantidad de gas adicional. Sin embargo, los autores de la invención prefieren respetar también el límite superior especificado, con el fin de reducir el riesgo de salpicaduras y formación de espuma del baño líquido, con el fin de reducir las vibraciones y otros tipos de tensiones dinámicas en las toberas y también en el resto de la construcción del horno, y con el fin de reducir los volúmenes de gases que deben procesarse aguas abajo de la parte superior del horno, a través de la zona de postcombustión y la zona de recuperación.

En la zona de postcombustión del horno o aparato según la presente invención, el al menos un metal o compuesto metálico evaporable en el gas de volatilización se oxida para formar una forma oxidada del al menos un metal o compuesto metálico evaporable. El propósito de esta etapa es reducir el riesgo para la seguridad que representa el gas de volatilización y permitir una recuperación más fácil del metal del gas de volatilización.

El gas de volatilización que se forma en la parte superior del horno representa un riesgo para la seguridad. El gas está muy caliente. El metal o compuesto metálico vaporizado contenido en el gas normalmente representa una forma reducida del metal y, por lo tanto, también es altamente reactivo cuando se expone a condiciones oxidantes, tales como en contacto con oxígeno. Por lo tanto, el gas de volatilización que se forma en la parte superior del horno representa un importante riesgo para la seguridad. Cualquier oxígeno que entre en el equipo de una manera incontrolada y entre en contacto con el gas de volatilización del horno, p. ej. como parte del aire ambiental que puede ser aspirado hacia la parte superior del horno o aguas abajo del mismo en la sección de tratamiento de gases de escape del aparato, reaccionaría y oxidaría fácilmente el metal o compuesto metálico vaporizado, una reacción que es altamente exotérmica. En condiciones insuficientemente controladas, p. ej. con mezclamiento bajo y/o en particular en zonas relativamente estancadas, una combinación de este tipo de los gases calientes con oxígeno puede conducir casi inevitablemente a una combustión incontrolada, posiblemente incluso a una explosión de nube de gas.

En una corriente de gas que fluye estable y relativamente rápida y con buen mezclamiento, dicha combinación del gas con una entrada conocida de aire u otra fuente de gas oxígeno es capaz de crear un frente de llama que puede mantenerse estable y bien controlado. Por lo tanto, los autores de la invención proporcionan como parte de la presente invención una zona de postcombustión en la que, de manera controlada, los gases calientes de la parte superior del horno de volatilización son aspirados, llevados a un movimiento de flujo estable y relativamente rápido, y mezclados intensamente con oxígeno de modo que las condiciones en la mezcla de gases cambian de reductoras a oxidantes. El resultado del buen mezclamiento y la alta temperatura es que se desarrolla un frente de llama y queda establecido en el flujo de gas que es retirado de la parte superior del horno, y que este frente de llama puede mantenerse fácilmente en un estado estable. Los autores de la invención prefieren proporcionar este frente de llama en el espacio encima del horno de combustión, que ofrece la ventaja de que la radiación del frente de llama estable todavía puede llegar al baño líquido en el horno y devolver parte del calor del frente de llama al baño líquido.

Otro resultado de la etapa o zona de postcombustión es que el riesgo para la seguridad representado por el gas caliente y altamente reactivo en la parte superior del horno permanece restringido al volumen de gas aguas arriba del frente de llama.

La forma oxidada del al menos un metal o compuesto metálico evaporable es más típicamente un óxido metálico. Las formas de óxido del metal o del compuesto metálico normalmente no son volátiles y normalmente forman un polvo de partículas finas arrastradas en el flujo de gas, lo que las hace más fácilmente recuperables del mismo.

El horno según la presente invención comprende además una zona de recuperación para recuperar la forma oxidada del al menos un metal o compuesto metálico evaporable a partir del gas formado en la zona de postcombustión. El procedimiento según la presente invención también comprende la etapa correspondiente de recuperar la forma oxidada del al menos un metal o compuesto metálico evaporable del gas formado en el horno y que ha sido sometido a la etapa de postcombustión.

En una realización del aparato u horno según la presente invención, el aparato comprende una pluralidad de segundos inyectores y cada inyector está equipado para inyectar a través de cada segundo inyector una cantidad de gas adicional que es al menos 10%, preferiblemente al menos 15%, más preferiblemente al menos 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45% o 50%, más preferiblemente al menos 55%, preferiblemente al menos 60%, más preferiblemente al menos 65%, incluso más preferiblemente al menos 70%, aún más preferiblemente al menos 75%, preferiblemente al menos 80% de la cantidad de primeros gases calientes de calidad plasma que pueden generarse mediante el elemento individual del al menos un soplete de plasma que tiene la potencia nominal más alta cuando este soplete suministra los primeros gases calientes con un contenido de entalpía de al menos 3,5 kWh/Nm³, expresado en unidades volumétricas en condiciones normales. Opcionalmente, cada segundo inyector está equipado para inyectar a través del segundo inyector una cantidad de gas adicional que es como máximo 200%, preferiblemente como máximo 190%, más preferiblemente como máximo 180%, 170%, 160%, 150%, 140%, 130%., 125%, 120%, 115%, 110%, 105%, 100%, 95% e incluso más preferiblemente como máximo 90% la cantidad de gases calientes de calidad plasma que pueden generarse mediante el elemento individual del al menos un soplete de plasma que tiene la potencia nominal más alta cuando este soplete suministra un plasma con un contenido de entalpía de al menos 3,5 kWh/Nm³, expresado en unidades volumétricas en condiciones normales.

En una realización del horno o aparato según la presente invención, el aparato está conectado a al menos un suministro de gas comprimido y/o equipado con un compresor para suministrar gas comprimido a al menos un segundo inyector. Los autores de la invención han descubierto que esto proporciona un método muy conveniente para suministrar gas adicional al horno. El término "compresor" puede interpretarse en su sentido más amplio y puede, p. ej. incluir una turbina alimentada por gas desde la cual los gases de combustión pueden estar disponibles a una presión superior a la atmosférica.

En una realización del horno o aparato según la presente invención, la fuente de suministro del gas adicional al aparato comprende una fuente de un gas seleccionado del grupo que consiste en hidrógeno, nitrógeno, aire, dióxido de carbono, argón, neón, helio, metano, etano, propano, butano y combinaciones de los mismos, preferiblemente nitrógeno o aire, más preferiblemente aire, incluso más preferiblemente aire comprimido. Los autores de la invención han descubierto que el nitrógeno y el aire, preferiblemente aire comprimido, son gases muy convenientes como base para el gas adicional que se va a inyectar en el horno.

En una realización del horno o aparato según la presente invención, el aparato comprende medios para tratar térmicamente el gas adicional aguas arriba del al menos un segundo inyector con el fin de modificar su contenido de entalpía, preferiblemente los medios para tratar térmicamente el gas adicional que comprende al menos un intercambiador de calor. Si durante el funcionamiento el suministro de gas al horno está a una temperatura inferior a la temperatura del baño líquido dentro del horno, los autores de la invención prefieren calentar el gas antes de que éste sea inyectado por el al menos un segundo inyector. Esto reduce el efecto de enfriamiento que la inyección del gas adicional puede tener en el horno y hace que sea más fácil mantener el equilibrio térmico a través del horno. Preferiblemente, dicho calentamiento utiliza al menos parcialmente el calor disponible en el sistema que trata los gases de escape del horno.

En una realización del horno o aparato según la presente invención, el aparato está además equipado con medios para introducir un agente reductor en el gas adicional aguas arriba del al menos un segundo inyector. Como se explicó anteriormente en la sección de compendio, la inyección del gas adicional en el horno a través del al menos un segundo inyector representa un punto de entrada adicional para añadir agente reductor al horno. Además, debido a que el al menos un segundo inyector está sumergido, la elección del agente reductor adecuado es muy amplia.

En una realización del horno o aparato según la presente invención, el agente reductor que se va a introducir puede seleccionarse de un gas, un líquido, un sólido y combinaciones de los mismos. Los autores de la invención han descubierto que la inyección de gas adicional según la presente invención es un vehículo adecuado para una amplia variedad de agentes reductores en términos del volumen o peso del agente reductor que puede introducirse convenientemente, no sólo si el agente reductor es un gas o un líquido, sino también si el agente reductor es un sólido. Además, un agente reductor sólido puede tener una granulometría muy fina, de modo que ofrezca una alta relación superficie/peso y, por lo tanto, una alta reactividad para participar en las reacciones químicas objetivo.

En una realización del horno o aparato según la presente invención, el aparato comprende medios para controlar la lambda del gas adicional que se va a inyectar en el baño mediante el segundo inyector. Con lambda ("λ") se entiende el parámetro muy conveniente que se usa comúnmente en relación con quemadores y combustibles, en particular con motores de combustión interna, y cuyo parámetro representa la relación de, en el numerador la relación real de aire a combustible y en el denominador la relación de aire a combustible del mismo combustible estequiométrica. Si una mezcla de aire/combustible es estequiométrica para una combustión completa, su lambda es, por lo tanto, 1,0. Los autores de la invención aplican este parámetro lambda a toda mezcla gaseosa en la que esté presente oxígeno, así como otra sustancia que pueda experimentar fácilmente una reacción con el oxígeno, tal como una sustancia combustible, donde la otra sustancia puede ser gas, líquido o sólido, o una combinación de los mismos. Los autores de la invención han descubierto que un control de la lambda del gas adicional que se inyecta a través del al menos un segundo inyector es un medio muy conveniente para controlar la atmósfera dentro del horno, estableciendo así si la atmósfera es neutra, oxidante o reductora, así como el grado de oxidación o reducción. Los autores de la invención han descubierto que el punto de adición adicional de agente reductor en el aparato según la presente invención es muy versátil y el control de lambda en el gas adicional que se va a inyectar proporciona un método muy conveniente para controlar las condiciones redox dentro del horno y, por lo tanto, dirige las reacciones químicas que ocurren dentro del horno. Los autores de la invención han descubierto que la combinación de la inyección de gas adicional con la inyección de gases calientes desde el generador o generadores de plasma permite una amplia variedad de condiciones redox, de modo que las condiciones redox pueden establecerse sustancialmente independientemente de la entrada de calor en el horno, a diferencia de los medios de calentamiento más convencionales, tales como el uso de quemadores de gas natural.

En una realización del horno o aparato según la presente invención, el aparato está equipado para inyectar como parte del gas adicional oxígeno y un combustible gaseoso o líquido, y para permitir que la velocidad del gas adicional en, o en otro lugar aguas arriba del al menos un segundo inyector sea mayor que la velocidad de propagación de la llama del combustible como parte del gas adicional. Los autores de la invención han descubierto que se puede proporcionar una entrada de calor adicional al horno inyectando como parte del gas adicional un combustible gaseoso o líquido, preferiblemente cuando el gas adicional también comprende oxígeno, incluso en el caso de que el gas adicional no se haya calentado o encendido y por lo tanto el combustible y el oxígeno no hayan reaccionado antes de haber llegado al baño líquido. Normalmente, la temperatura del baño líquido dentro del horno está muy por encima de la temperatura a la que el combustible y el oxígeno en el gas adicional empiezan a reaccionar, incluso sin una fuente de ignición, y pueden reaccionar fácilmente una vez que se han inyectado en el baño líquido. Los autores de la invención prefieren esta realización porque han descubierto que, de lo contrario, dicha reacción puede viajar aguas arriba en contra de la dirección del flujo del gas adicional en los conductos aguas arriba del al menos un segundo inyector, así como en el propio segundo inyector. Un fenómeno de "retorno de llama" de este tipo puede conducir a una liberación de calor en ese conducto o inyector y, por lo tanto, a un aumento de la temperatura y, por lo tanto, de desgaste, o incluso a una explosión del gas adicional aguas arriba y/o dentro del inyector. Los autores de la invención han descubierto que el riesgo de daños al equipo como resultado de dicho calentamiento dentro o aguas arriba del inyector puede reducirse si el aparato está equipado para permitir que el gas adicional alcance una velocidad, en el segundo inyector o en otro lugar aguas arriba del mismo, que es mayor que la velocidad de propagación de la llama en el gas adicional. Otra ventaja es que los gases adicionales se inyectan a una temperatura más baja, lo que reduce aún más el desgaste del segundo inyector.

5 En una realización del horno o aparato según la presente invención, el aparato está equipado para limitar la cantidad de combustible inyectado de modo que la combustión del combustible inyectado en las condiciones de funcionamiento previstas para el horno produce un aumento de entalpía del gas adicional de modo que el gas adicional en el punto de inyección en el baño está a una temperatura que es como máximo la temperatura de la carga fundida destinada a estar en el horno durante la operación. Esto también contribuye a reducir el desgaste en el segundo inyector.

10 En una realización del horno o aparato según la presente invención, el al menos un segundo inyector dirige su gas adicional hacia un segundo volumen como parte del espacio interno del horno por debajo del nivel predeterminado que es diferente del primer volumen en el cual el al menos un primer inyector dirige sus primeros gases calientes. Los autores de la invención han descubierto que esta característica mejora las ventajas asociadas con la presente invención y se explican en la sección de compendio anterior, entre otras, una agitación del baño mejorada, una composición de baño líquido más homogénea, reacciones químicas mejoradas y, por supuesto, una extracción mejorada del metal o compuesto metálico evaporable del baño líquido.

15 En una realización del horno o aparato según la presente invención, el al menos un primer inyector está ubicado en la pared lateral del horno, en donde el al menos un segundo inyector está ubicado en la pared del horno opuesta a la de al menos un primer inyector, preferiblemente a lo largo del perímetro horizontal del horno que va sustancialmente a la misma altura que el al menos un primer inyector. Los autores de la invención han descubierto que esta configuración es muy conveniente y eficaz para obtener los efectos deseados de la presente invención, como se explica en la sección de compendio anterior. El al menos un primer inyector puede inyectar su gas adicional en una dirección aproximadamente perpendicular a la pared lateral del horno. Sin embargo, los autores de la invención prefieren inyectar el gas adicional en un ángulo con un plano horizontal, ya sea hacia abajo o hacia arriba, porque el gas adicional aporta un impulso adicional para una circulación vertical en el baño líquido, lo que mejora la agitación del baño y también atrae más agente reductor que puede estar flotando sobre el baño líquido a la masa del baño líquido. Los autores de la invención prefieren que la dirección sea hacia arriba, porque esto puede ser mejor para crear una vía de circulación en forma de toro en el baño líquido.

20 En una realización del horno o aparato según la presente invención, el aparato comprende al menos dos y preferiblemente al menos tres primeros inyectores distribuidos a lo largo de un perímetro horizontal de la pared lateral del horno, de modo que el al menos un segundo inyector sumergido está apuntando su gas adicional hacia un volumen como parte del espacio interno del horno por debajo del nivel predeterminado aproximadamente cerca del eje vertical del horno y/o estando ubicado el al menos un segundo inyector sumergido a lo largo de la pared lateral del horno a aproximadamente la misma distancia entre las ubicaciones de los dos más cercanos de los al menos dos primeros inyectores. En la realización en donde el al menos un segundo inyector sumergido está ubicado a lo largo de la pared lateral del horno, el al menos un segundo inyector preferiblemente dirige su gas adicional inyectado hacia un volumen como parte del espacio interno del horno por debajo del nivel predeterminado que es diferente de los volúmenes hacia los cuales los primeros inyectores dirigen sus primeros gases calientes. Los autores de la invención han descubierto que esto mejora los efectos ventajosos obtenidos por la presente invención y se explican en detalle en la sección de compendio anterior.

25 En una realización del horno o aparato según la presente invención, el aparato está además equipado para introducir un agente reductor en los primeros gases calientes aguas arriba del al menos un primer inyector. Esto aporta la ventaja de que se puede introducir aún más agente reductor en el horno por encima de la cantidad que se puede introducir por otros medios, p. ej. junto con el gas adicional y/o añadido a través del puerto de alimentación. La cantidad de agente reductor adicional que puede introducirse a través del al menos un primer inyector es independiente de la entrada de entalpía en el horno. Por lo tanto, este método de introducción de agente reductor es muy conveniente para controlar la propiedad redox de la atmósfera dentro del horno. Una ventaja adicional es que el agente reductor introducido a través del primer inyector se introduce junto con la entrada de entalpía de temperatura más alta en el horno. A una temperatura más alta, la constante de equilibrio de la reacción de volatilización de zinc deseada (I) favorece la formación de zinc metálico, que es una sustancia evaporable. La eficacia del agente reductor introducido con los primeros gases calientes es por tanto mayor, y como además esta inyección se realiza mediante un inyector sumergido, también es muy eficaz debido al contacto muy íntimo de los primeros gases calientes con el líquido en el baño de líquido, lo que significa que hay poca cantidad de este agente reductor que pueda alcanzar la superficie del baño líquido sin haber entrado en contacto con el líquido del baño.

30 En una realización del horno o aparato según la presente invención, el agente reductor que se va a introducir aguas arriba del al menos un primer inyector se puede seleccionar entre un gas, un líquido, un sólido y combinaciones de los mismos. Los autores de la invención han descubierto que la introducción de los primeros gases calientes del soplete de plasma a través del primer inyector proporciona una opción muy versátil para introducir agente reductor adicional, porque es altamente tolerante con respecto a la elección del agente reductor, en particular con respecto a su estado de la materia pero también con respecto de la cantidad que puede introducirse.

35 En una realización del horno o aparato según la presente invención, el aparato está equipado además con al menos un quemador de oxigás para la generación de primeros gases calientes adicionales por encima de la cantidad de primeros gases calientes de calidad plasma del al menos un soplete de plasma. Esto aporta la ventaja de que se puede proporcionar una entrada de entalpía adicional al horno por encima de la entrada de entalpía proporcionada por los generadores de plasma. Esto puede facilitar el mantenimiento de un equilibrio térmico ventajoso a través del

horno, el aparato y/a través de todo el procedimiento general.

5 En una realización del horno o aparato según la presente invención, en donde el aparato está equipado con al menos un tercer inyector sumergido para inyectar los primeros gases calientes adicionales por debajo del nivel determinado. Esto aporta la ventaja de un contacto muy íntimo entre los primeros gases calientes adicionales y el baño líquido, lo que es favorable para la transferencia de calor desde los primeros gases calientes adicionales hacia el baño líquido dentro del horno. Esto hace que la transferencia de calor sea muy eficaz.

En una realización del horno o aparato según la presente invención que comprende el al menos un quemador de oxigás, el al menos un quemador de oxigás está situado por debajo del nivel determinado.

10 En una realización del aparato según la presente invención, el soplete de plasma está situado por debajo del nivel determinado.

Las características de situar un generador de gas caliente y/o plasma por debajo del nivel determinado permiten tuberías de conexión muy cortas, pudiendo situarse el generador de gas caliente o plasma al nivel del punto de inyección, en el exterior del horno. Sin embargo, son necesarias medidas para evitar la inundación del generador por la masa fundida dentro del horno. Por lo tanto, se puede utilizar un flujo continuo de gas protector a través del inyector.

15 En una realización del horno o aparato según la presente invención, la zona de postcombustión se proporciona por encima del nivel determinado como parte del horno de una sola cámara. Preferiblemente, la zona de postcombustión se proporciona encima del baño líquido debido al calor de radiación que puede regresar desde la zona de postcombustión al baño líquido en el horno. Como se explica en otra parte de este documento, en la zona de postcombustión se establecen condiciones oxidantes con el fin de oxidar el metal o compuesto metálico evaporable a la forma oxidada correspondiente. Un efecto importante, obtenido con una conversión completa de la oxidación de la forma reducida generada en la etapa de volatilización, es que el gas que contiene la forma oxidada ya no es altamente combustible y, por lo tanto, el riesgo para la seguridad que representa el gas de la etapa de volatilización está contenido y se elimina aguas abajo de la zona o etapa de postcombustión. Un objetivo secundario de la etapa de postcombustión es oxidar también la mayor parte del monóxido de carbono, que puede haberse generado en la etapa de volatilización por la reacción del carbono en el agente reductor con, p. ej., el oxígeno disponible en la escoria como óxido metálico, en dióxido de carbono y/o oxidar hidrógeno en agua. Esto reduce aún más el riesgo para la seguridad y también hace que el procesamiento posterior de los gases de escape del horno, incluida cualquier emisión eventual a la atmósfera, sea más fácil, más seguro y más aceptable ambientalmente.

20 Preferiblemente, los autores de la invención realizan la postcombustión mediante la introducción de un agente oxidante en el gas de volatilización, siendo preferiblemente el agente oxidante oxígeno.

25 En una realización del horno o aparato según la presente invención, la zona de postcombustión comprende una conexión con una fuente de suministro de un gas que contiene oxígeno, preferiblemente seleccionado de aire, aire enriquecido con oxígeno y gas oxígeno purificado. Los autores de la invención prefieren utilizar aire debido a su fácil disponibilidad. Preferiblemente, los autores de la invención introducen el oxígeno inyectando el gas que contiene oxígeno en el flujo de gas de volatilización que sale de la parte superior del horno. Normalmente, el gas de volatilización que sale de la parte superior del horno está a una presión inferior a la atmosférica debido a la corriente que se genera por el tratamiento de gases de escape aguas abajo que normalmente comprende al menos una chimenea de horno y opcionalmente un ventilador de aspiración inducida aguas arriba de la chimenea. De este modo, el gas que contiene oxígeno puede estar accesible a presión atmosférica. Los autores de la invención prefieren proporcionar el gas que contiene oxígeno a una presión superior a la atmosférica, porque esto proporciona una mayor diferencia de presión entre la fuente del gas que contiene oxígeno y el gas de volatilización que es aspirado al equipo de tratamiento de gases de escape del horno mediante la aspiración natural o inducida generada como se ha explicado. Una mayor diferencia de presión aporta la ventaja de que el flujo del gas que contiene oxígeno al gas de volatilización es más fácil de controlar con mayor precisión.

40 En una realización más sencilla, los autores de la invención proporcionan al menos una abertura a la atmósfera en el conducto que conecta el horno con el equipo de procesamiento de gases de escape aguas abajo a través del cual se puede succionar aire ambiental. Preferiblemente, el tamaño de la abertura en el conducto es controlable. Se puede proporcionar una pluralidad de aberturas, que ofrecen la ventaja de una mezcla más rápida y más íntima del gas que contiene oxígeno con el gas de volatilización.

45 Los autores de la invención han descubierto que en la zona de postcombustión se puede formar un frente de llama estable en donde tienen lugar las reacciones de oxidación. Los autores de la invención han descubierto que el frente de llama es más estable a medida que se hace que el gas de volatilización se mueva más rápido y que la mezcla con el gas que contiene oxígeno sea más rápida y/o más intensa.

50 Los autores de la invención prefieren proporcionar a la zona o etapa de postcombustión un exceso significativo del agente oxidante, de modo que las reacciones de oxidación en la zona de postcombustión son sustancialmente completas. Esto asegura que el riesgo para la seguridad esté completamente contenido en la zona o etapa de postcombustión y aguas arriba de la misma. También garantiza que los gases de escape finalmente emitidos estén sustancialmente libres de monóxido de carbono, que es un gas tóxico, y también de hidrógeno.

En una realización del horno o aparato según la presente invención, el aparato comprende además una zona de enfriamiento para enfriar el gas que se está formando o que se ha formado en la zona de postcombustión aguas arriba de la zona de recuperación. El enfriamiento se puede realizar de diversas formas adecuadas.

5 Una forma adecuada es proporcionar una denominada caldera de calor residual, es decir, un intercambiador de calor en el que el calor del gas procedente de la etapa de postcombustión se utiliza para generar vapor. La ventaja es que el calor se utiliza para generar vapor, y ese vapor se puede utilizar en otra parte para suministrar energía o calor donde se pueda utilizar. Por lo tanto, el elevado coste de inversión de una caldera de calor residual en comparación con otras alternativas puede compensarse con el valor del vapor que se genera. Sin embargo, no siempre se dispone de un consumidor de vapor del tamaño adecuado en las proximidades del horno según la presente invención.

10 Otra forma adecuada de enfriamiento es utilizar un enfriador de agua por radiación, en el que el agua del lado del enfriador se hace circular con suficiente rapidez para evitar la generación de vapor, de modo que sólo se produce agua caliente. Preferiblemente, el agua se recicla al enfriador de agua por radiación una vez que se ha eliminado la mayor parte del calor de la misma. Preferiblemente, esta agua caliente también puede destinarse a un uso económicamente valioso en un servicio de calentamiento, tal como para calentar una pluralidad de edificios residenciales, y más preferiblemente el agua se recicla después de haberla utilizado para el servicio de calentamiento. Además y/o como alternativa, el agua caliente se puede enfriar en una torre de refrigeración convencional. La cantidad de agua que se evaporó en la torre de refrigeración debe reponerse antes de devolver el agua restante al enfriador de agua por radiación. Debido a que en dicho ciclo del agua se acumulan sales, normalmente el ciclo también debe proporcionar una corriente de purga y la cantidad de agua de purga también debe reponerse. Un enfriador de agua por radiación también tiene la ventaja de que no altera la cantidad de gas que debe procesarse aguas abajo en el lado del gas de la etapa de enfriamiento. Otra ventaja más de un enfriador de agua por radiación es que esta etapa de enfriamiento se puede combinar con la zona de postcombustión, lo que significa que la etapa de postcombustión se puede realizar dentro del enfriador de agua por radiación. Esta realización aporta una simplificación adicional del equipo y, por lo tanto, una reducción del coste de inversión.

25 Otra forma más de enfriamiento es el enfriamiento por pulverización o "enfriamiento por evaporación". Este método implica la inyección de agua en la corriente de gas caliente y el agua inyectada extrae su calor de evaporación de la corriente de gas. Este método es muy eficaz y rápido, y requiere poco equipo y, por lo tanto, un bajo coste de inversión. El inconveniente es que este método aumenta el volumen de gas que debe ser procesado aguas abajo de la etapa de enfriamiento.

30 Otra forma adecuada es el uso de un intercambiador de calor gas/gas con el gas de la etapa de postcombustión en un lado y, p. ej. aire ambiente en el otro lado del intercambiador de calor. Esto aporta la ventaja de tener un volumen compacto y no aumentar el flujo del gas que debe ser procesado aguas abajo de la etapa de enfriamiento.

35 La etapa de enfriamiento preferida puede comprender una serie de métodos de enfriamiento similares o diferentes seleccionados de los enumerados anteriormente. Una combinación adecuada puede ser, por ejemplo, proporcionar en el lado de entrada caliente primero un enfriador de agua por radiación para disminuir la temperatura del gas de la etapa de postcombustión desde, p. ej. aproximadamente 1500°C hasta p. ej. aproximadamente 1000°C, seguido de un enfriador por pulverización para reducir aún más la temperatura del gas hasta aproximadamente 200°C, que puede ser suficientemente baja para el equipo utilizado en la zona de recuperación posterior.

40 En una realización del horno o aparato según la presente invención, la zona de recuperación comprende una zona de filtrado de gas, preferiblemente la zona de filtrado de gas comprende al menos una tela filtrante de gas. Los autores de la invención prefieren usar mangas de filtro hechas de tela de politetrafluoretileno (PTFE), porque son capaces de soportar temperaturas de procesamiento de hasta aproximadamente 260°C.

45 Normalmente, el último equipo en la secuencia de procesamiento de gas es un soplador o ventilador para empujar el gas desde la zona de recuperación a la chimenea de emisiones y también para mejorar la corriente aguas arriba succionando el gas a través de la secuencia de zona de postcombustión, zona de enfriamiento opcional y zona de recuperación. El uso de un soplador o ventilador aporta la ventaja de que se reducen los requisitos de corriente natural de la chimenea de emisión, de modo que la chimenea puede construirse de menor altura.

50 En una realización del horno o aparato según la presente invención, el horno tiene una forma generalmente cilíndrica, teniendo preferiblemente el horno también una sección inferior cónica que se estrecha hacia un fondo circular más pequeño, de modo que la forma cilíndrica del horno tiene un diámetro interno más grande d y el horno tiene una altura interna total h desde el fondo a la parte superior, siendo la relación de h a d al menos 0,75, preferiblemente al menos 0,80, más preferiblemente al menos 0,85, incluso más preferiblemente al menos 0,90, aún más preferiblemente al menos 0,95, preferiblemente al menos 1,00, más preferiblemente al menos 1,05, incluso más preferiblemente al menos 1,10, aún más preferiblemente al menos 1,15, preferiblemente al menos 1,20, más preferiblemente al menos 1,25, incluso más preferiblemente al menos 1,30. En el contexto de la presente invención, el diámetro interno del horno es la distancia entre dos superficies opuestas de la pared del horno, y cuando está presente un revestimiento refractario, las superficies del revestimiento refractario en el horno en el momento de la construcción. Se considera que el diámetro interno excluye cualquier posible acumulación en esas superficies de escoria congelada, una capa que puede denominarse "revestimiento de congelación". Los autores de la invención han descubierto que esta característica

aporta la ventaja de que la materia fundida salpica menos en el baño del horno durante el funcionamiento. Dicha materia fundida salpicada puede solidificar contra cualquier superficie sólida y más fría, tal como el puerto de alimentación del horno y/o la tubería de escape del horno, donde puede causar problemas debido a su alta temperatura y donde dicho crecimiento de material puede causar otros problemas operativos tales como perjudicar el flujo de gas y/o las capacidades de introducción de alimentación.

En una realización del horno o aparato según la presente invención, el horno comprende la sección inferior cónica y en donde el nivel determinado está aproximadamente a la altura donde la forma cilíndrica se convierte en la sección inferior cónica. Los autores de la invención han descubierto que la sección inferior cónica proporciona una configuración muy conveniente en la que la mayoría de los inyectores sumergidos y preferiblemente también los suministradores correspondientes de las alimentaciones para esos inyectores sumergidos pueden disponerse para una inyección muy efectiva en el baño líquido dentro del horno con un mínimo de tubería de conexión, al tiempo que se limita la cantidad de espacio de terreno que puede estar ocupando el aparato. Esta disposición aporta la ventaja de acercar los primeros inyectores al eje vertical central del horno, lo que es beneficioso para la agitación del baño. Esta disposición también proporciona una mayor agitación en la sección inferior donde se inyectan los primeros gases calientes y donde también, en las realizaciones en donde el aparato está provisto de toberas en la pared del horno de la sección inferior más pequeña, se inyecta el gas adicional, mientras que en la sección superior las salpicaduras son menores gracias al mayor diámetro. Una ventaja adicional es que en la sección superior se puede formar un flujo de líquido en forma de toro, lo que es beneficioso para retirar cualquier partícula de agente reductor sólida que pueda estar flotando sobre el nivel del líquido dentro del baño.

En una realización del horno o aparato según la presente invención, el horno está provisto de un revestimiento refractario interno, en particular donde puede producirse contacto con metal fundido y/o mata. Esto aporta la ventaja de que se pueden procesar o tratar cargas metalúrgicas que tienen altas temperaturas de fusión y/o altas temperaturas líquidas. El revestimiento refractario se proporciona preferiblemente en la sección inferior, donde puede aparecer una fase de metal fundido y/o mata libre, aportando el beneficio de una mayor resistencia al ataque químico y/o mecánico de estos líquidos.

En una realización del horno o aparato según la presente invención, en donde las paredes periféricas del horno están enfriadas por agua. Los autores de la invención han descubierto que esto es beneficioso para una mayor duración de la resistencia del equipo frente a las temperaturas posiblemente muy altas que pueden ocurrir dentro del horno durante el funcionamiento. Un beneficio adicional es que se puede formar un revestimiento de congelación dentro del horno contra las paredes laterales del horno. Dicho revestimiento de congelación puede ofrecer aislamiento térmico adicional frente a las temperaturas posiblemente muy altas dentro del horno durante el funcionamiento, y ofrecer protección adicional para el material refractario que puede haberse suministrado contra las paredes del horno.

En una realización del procedimiento según la presente invención, la cantidad de gas adicional inyectada a través del al menos un segundo inyector es al menos el 10%, preferiblemente al menos 15%, más preferiblemente al menos 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, 50% o 55%, más preferiblemente al menos 60%, preferiblemente al menos 70%, más preferiblemente al menos 75%, 80%, 90%, 100%, 110%, 120%, 125%, 130%, 140%, 150%, 175%, 200%, 225% e incluso más preferiblemente al menos 230% de la cantidad de primeros gases calientes de calidad plasma que pueden generarse mediante el elemento individual del al menos un soplete de plasma con la potencia nominal más alta cuando este soplete suministra los primeros gases calientes con un contenido de entalpía de al menos 3,5 kWh/Nm³, expresado en unidades volumétricas en condiciones normales. Opcionalmente, la cantidad de gas adicional inyectada a través del al menos un segundo inyector es como máximo 500%, preferiblemente como máximo 450%, más preferiblemente como máximo 400%, 350%, 325%, 300%, 290%, 280%, 275%, 270%, 265%, 260%, 250%, 240%, 230%, 220%, 210%, 200%, 180%, 165%, 150%, 135%, 120%, 110%, 100%, 90%, 80%, 70%, 60%, 50%, 40%, 30% e incluso más preferiblemente como máximo 20% de la cantidad de plasma que puede generarse mediante el elemento individual del al menos un soplete de plasma que tiene la mayor potencia nominal cuando este soplete suministra plasma con un contenido de entalpía de al menos 3,5 kWh/Nm³, expresado en unidades volumétricas en condiciones normales. Los autores de la invención han descubierto que ya se puede conseguir una ventaja importante de la presente invención inyectando a través del segundo inyector una cantidad de flujo de gas adicional que esté más cerca del límite inferior como se especifica, especialmente cuando el flujo de gas adicional se utiliza como vehículo para agente reductor adicional, en particular cuando se utiliza un polvo fino, tal como polvo de carbón o polvo de coque de petróleo, como agente reductor adicional.

En una realización del procedimiento según la presente invención en donde el aparato comprende una pluralidad de segundos inyectores, la cantidad de gas adicional que se inyecta a través de cada segundo inyector es al menos el 10%, preferiblemente al menos 15%, más preferiblemente al menos el 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45% o 50%, más preferiblemente al menos 55%, preferiblemente al menos 60%, más preferiblemente al menos 65%, incluso más preferiblemente al menos 70%, aún más preferiblemente al menos 75%, preferiblemente al menos 80% de la cantidad de primeros gases calientes de calidad plasma que pueden generarse mediante el elemento individual del al menos un soplete de plasma que tiene la potencia nominal más alta cuando este soplete suministra primeros gases calientes que tienen un contenido de entalpía de al menos 3,5 kWh/Nm³, expresado en unidades volumétricas en condiciones normales. Opcionalmente, cada segundo inyector inyecta una cantidad de gas adicional que es como máximo 200%, preferiblemente como máximo 190%, más preferiblemente como máximo 180%, 160%, 150%, 140%, 130%, 125%, 120%, 115%, 110%, 105%, 100%, 95% e incluso más preferiblemente como máximo 90% de la cantidad de

primeros gases calientes de calidad plasma que pueden generarse mediante el elemento individual del al menos un soplete de plasma que tiene la potencia nominal más alta cuando este soplete suministra los primeros gases calientes con un contenido de entalpía de al menos 3,5 kWh/Nm³, expresado en unidades volumétricas en condiciones normales.

5 En una realización del procedimiento según la presente invención, el gas adicional inyectado a través del al menos un segundo inyector comprende al menos un gas seleccionado del grupo que consiste en hidrógeno, nitrógeno, aire, dióxido de carbono, argón, neón, helio, metano, etano, propano, butano y combinaciones de los mismos, preferiblemente nitrógeno o aire, más preferiblemente aire, incluso más preferiblemente aire comprimido. Los autores de la invención han descubierto que el nitrógeno y el aire, preferiblemente aire comprimido, son gases muy
10 convenientes como base para el gas adicional que se inyecta en el horno.

En una realización del procedimiento según la presente invención, el gas adicional inyectado a través del al menos un segundo inyector se trata térmicamente aguas arriba del al menos un segundo inyector con el fin de modificar su contenido de entalpía, preferiblemente realizándose el tratamiento térmico del gas adicional utilizando al menos un intercambiador de calor. Si el gas se suministra al horno a una temperatura inferior a la temperatura del baño líquido
15 dentro del horno, los autores de la invención prefieren calentar el gas antes de que éste sea inyectado por el al menos un segundo inyector. Esto reduce el efecto de enfriamiento que la inyección del gas adicional puede tener en el horno y hace que sea más fácil mantener el equilibrio térmico en el horno. Preferiblemente, dicho calentamiento utiliza al menos parcialmente el calor disponible en el sistema que trata los gases de escape del horno.

En una realización del procedimiento según la presente invención, la temperatura del gas adicional que entra en el al menos un segundo inyector es como máximo igual a la temperatura del baño en el horno, preferiblemente al menos 20 grados Celsius por debajo de la temperatura del baño, más preferiblemente al menos 50, incluso más preferiblemente al menos 100, aún más preferiblemente al menos 200 grados Celsius por debajo de la temperatura del baño en el horno. Esto aporta la ventaja de tener menos desgaste en el punto de inyección o la tobera. Opcionalmente, la temperatura del gas adicional que entra en el al menos un segundo inyector es como máximo 400
20 grados Celsius por debajo de la temperatura del baño en el horno, preferiblemente como máximo 350, más preferiblemente como máximo 300, incluso más preferiblemente como máximo 250, preferiblemente como máximo 200, más preferiblemente como máximo 150, incluso más preferiblemente como máximo 100, preferiblemente como máximo 75, más preferiblemente como máximo 50, incluso más preferiblemente como máximo 25 grados Celsius por debajo de la temperatura del baño en el horno. Esto aporta la ventaja de un menor riesgo de acumulación de escoria solidificada en la boca del punto de inyección o tobera, que puede ser causada por el efecto de enfriamiento del gas adicional que pasa a través del punto de inyección o tobera y entra en el horno.
25

En una realización del procedimiento según la presente invención, el gas adicional inyectado a través del al menos un segundo inyector comprende al menos un primer agente reductor, seleccionándose preferiblemente el al menos un agente reductor del grupo que consiste en cualquier sustancia que contiene elementos distintos del oxígeno y gases nobles y que son capaces de reaccionar con el oxígeno en las condiciones dentro del horno, preferiblemente cualquier sustancia que contiene carbono y/o hidrógeno en una forma químicamente ligada susceptible de oxidación, seleccionándose más preferiblemente el agente reductor del grupo que consiste en gas natural, hidrocarburo gaseoso y/o líquido, fuelóleo, caucho, plástico, preferiblemente un plástico hecho de al menos una poliolefina, más preferiblemente caucho y/o plástico de desecho, carbón vegetal o coque, y combinaciones de los mismos, siendo
35 incluso más preferiblemente coque, aún más preferiblemente coque de petróleo, siendo este último un subproducto altamente rico en carbono procedente del procesamiento del petróleo crudo. Como se explicó anteriormente en la sección de compendio, la inyección del gas adicional en el horno a través del al menos un segundo inyector representa un punto de entrada adicional para añadir agente reductor en el horno. Además, debido a que al menos un segundo inyector está sumergido, la elección del agente reductor adecuado es muy amplia.

En una realización del procedimiento según la presente invención que utiliza el primer agente reductor, el primer agente reductor es un sólido, preferiblemente en forma de partículas, más preferiblemente las partículas tienen un diámetro medio de partículas de como máximo 6 mm, incluso más preferiblemente como máximo 5, 4, 3, 2 o 1 mm, preferiblemente como máximo 500 µm, más preferiblemente como máximo 250, 200, 150, 100 o incluso 50 µm. Los autores de la invención han descubierto que los agentes reductores sólidos adecuados están disponibles en una amplia variedad y calidades y de una variedad de fuentes. Además, varios de estos agentes reductores sólidos adecuados tienen pocas o ninguna disposición alternativa en donde puedan exigir un valor económico significativo. Por lo tanto, estos agentes reductores sólidos representan una fuente muy interesante para su uso según la presente invención. Como se explica en otra parte de este documento, el tamaño de partículas más pequeño aporta la ventaja de ofrecer una mayor relación de superficie a peso, así como menos flotabilidad y, por lo tanto, un uso más eficiente
45 y eficaz del agente reductor.
50
55

En una realización del procedimiento según la presente invención, el gas adicional inyectado a través del al menos un segundo inyector comprende además oxígeno y una cantidad de combustible adecuada para, mediante su combustión en las condiciones de funcionamiento en el horno, llevar una entrada de entalpía al horno que compensa al menos el 50% del efecto de enfriamiento que el gas adicional puede aportar al horno en caso de que el gas adicional esté en el punto de inyección a una temperatura inferior a la temperatura de la carga fundida en el horno. Los autores de la invención prefieren añadir una cantidad de combustible que compense al menos el 75%, y preferiblemente al menos
60

100% del efecto de enfriamiento como se describe. Los autores de la invención han descubierto que se puede proporcionar una entrada de calor adicional al horno inyectando como parte del gas adicional un combustible gaseoso o líquido, preferiblemente cuando el gas adicional también comprende además oxígeno, más preferiblemente al menos oxígeno suficiente para alcanzar la lambda deseada en los gases adicionales. Normalmente, la temperatura del baño líquido dentro del horno está por encima de la temperatura a la que el combustible y el oxígeno del gas adicional empiezan a reaccionar, incluso sin una fuente de ignición. Con la presencia de suficiente oxígeno en el gas adicional, el combustible añadido se quema fácilmente una vez que el gas adicional entra en contacto con la carga fundida del horno. Los autores de la invención han descubierto que los flujos de gases pueden establecerse fácilmente lo suficientemente altos como para que la reacción de combustión no se desplace aguas arriba en contra de la dirección del flujo del gas adicional en el segundo inyector y/o en los conductos que conducen al el al menos un segundo inyector. Por lo tanto, el riesgo de que se produzca un fenómeno de "retorno de llama" es muy bajo. Los autores de la invención han descubierto que el riesgo de daños al equipo como resultado de dicho calentamiento dentro o aguas arriba del inyector puede eliminarse fácilmente si el gas adicional alcanza una velocidad, en el segundo inyector o en otro lugar aguas arriba del mismo, que sea mayor que la velocidad de propagación de la llama en el gas adicional. Los autores de la invención consideran que esta condición puede cumplirse fácilmente.

En una realización del procedimiento según la presente invención, el gas adicional inyectado a través del al menos un segundo inyector tiene una primera lambda, que tiene en cuenta sólo los combustibles gaseosos y líquidos, de menos de 1,0, preferiblemente como máximo 0,9, más preferiblemente como máximo 0,8, incluso más preferiblemente como máximo 0,7, aún más preferiblemente como máximo 0,6. Con lambda (" λ ") se entiende el parámetro muy conveniente que se usa comúnmente en relación con quemadores y combustibles, en particular con motores de combustión interna, y cuyo parámetro representa la relación que tiene en el numerador la relación real de aire a combustible y en el denominador la relación de aire a combustible del mismo combustible estequiométrica. Si una mezcla de aire/combustible es estequiométrica, su lambda es, por lo tanto, 1,0. Los autores de la invención aplican este primer parámetro lambda a toda mezcla gaseosa en la que esté presente oxígeno, así como a otra sustancia que pueda reaccionar fácilmente con el oxígeno, tal como una sustancia combustible, donde la otra sustancia es un gas o un líquido, o una combinación de los mismos. Los autores de la invención han descubierto que, si no se emplea ningún agente reductor sólido en el procedimiento, un control de la primera lambda del gas adicional que se inyecta a través del al menos un segundo inyector es un medio muy conveniente para controlar la atmósfera dentro del horno, estableciendo así si la atmósfera es neutra, oxidante o reductora, así como el grado de oxidación o reducción. Los autores de la invención han descubierto que el punto de adición adicional para agente reductor en el aparato según la presente invención es altamente versátil y el control de la primera lambda, y/o la segunda lambda como se describe más adelante, en el gas adicional que se va a inyectar proporciona un método muy conveniente para controlar las condiciones redox dentro del horno y, por lo tanto, dirigir las reacciones químicas que ocurren dentro del horno. Los autores de la invención han descubierto que la combinación de la inyección de gas adicional con la inyección de primeros gases calientes desde el generador o generadores de plasma permite una amplia variedad de condiciones redox, de modo que las condiciones redox pueden establecerse sustancialmente independientemente de la entrada de calor en el horno, a diferencia de los medios de calentamiento más convencionales, tales como el uso de quemadores de gas natural.

Los autores de la invención también consideran una segunda lambda que tiene en cuenta todos los combustibles que se emplean en el procedimiento y añadidos al gas adicional, es decir, incluyendo cualquier combustible sólido tal como la mayoría de los agentes reductores descritos anteriormente en este documento. En una realización del procedimiento según la presente invención, el gas adicional inyectado a través del al menos un segundo inyector tiene una segunda lambda de menos de 0,6, preferiblemente como máximo 0,5, más preferiblemente como máximo 0,4, incluso más preferiblemente como máximo 0,3, aún más preferiblemente como máximo 0,2. Los autores de la invención han descubierto que valores de segunda lambda tan bajos son muy beneficiosos para la volatilización de metales de escorias metalúrgicas, tales como el zinc.

En una realización del procedimiento según la presente invención, el gas adicional inyectado a través del al menos un segundo inyector es combustible y el gas adicional en el al menos un segundo inyector alcanza una velocidad que es mayor que la velocidad de propagación de la llama del gas adicional. Los autores de la invención han descubierto que se puede proporcionar una entrada de calor adicional al horno inyectando como parte del gas adicional un combustible gaseoso o líquido, preferiblemente cuando el gas adicional también comprende oxígeno. Normalmente, la temperatura del baño líquido dentro del horno está por encima de la temperatura a la que el combustible y el oxígeno en el gas adicional empiezan a reaccionar, incluso sin una fuente de ignición. Los autores de la invención han descubierto que tal reacción puede desplazarse aguas arriba en contra de la dirección del flujo del gas adicional en los conductos que conducen a el al menos un segundo inyector, así como en el propio segundo inyector. Dichos fenómeno de "retorno de llama" puede conducir a una liberación de calor en ese conducto del inyector y, por lo tanto, un aumento de la temperatura del gas adicional aguas arriba y/o dentro del inyector. Los autores de la invención han descubierto que el riesgo de daños al equipo como resultado de dicho calentamiento dentro o aguas arriba del inyector puede reducirse fácilmente o incluso eliminarse si el gas adicional alcanza una velocidad, en el inyector o en otro lugar aguas arriba del mismo, que es mayor que la velocidad de propagación de la llama en el gas adicional.

En una realización del procedimiento según la presente invención, el al menos un metal o compuesto metálico evaporable es un metal en su forma elemental o un compuesto que contiene metal evaporable, seleccionándose preferiblemente el metal del grupo que consiste en zinc, plomo, estaño, bismuto, cadmio, indio, germanio y combinaciones de los mismos, de modo que el compuesto evaporable puede ser, por ejemplo, un óxido, un sulfuro, un cloruro o una combinación de los mismos. Los autores de la invención han descubierto que el procedimiento según la presente invención es muy adecuado para eliminar por evaporación un metal o un compuesto que contiene metal seleccionado de la lista prescrita. Los autores de la invención han descubierto que este procedimiento proporciona una alternativa altamente competitiva para recuperar uno de los metales especificados de cargas metalúrgicas.

En una realización del procedimiento según la presente invención, en donde se añade al horno un metal menos noble que el metal en el metal o compuesto metálico evaporable, preferiblemente hierro y/o aluminio, preferiblemente el metal menos noble se añade en la forma de partículas, más preferiblemente teniendo las partículas un diámetro medio de partículas de como máximo 5, 4, 3, 2 o 1 mm, preferiblemente como máximo 500 μm , más preferiblemente como máximo 250, 200, 150, 100 o incluso 50 μm , de modo que la concentración del metal menos noble en la escoria se mantiene preferiblemente por debajo del límite de solubilidad del mismo en la escoria en las condiciones del procedimiento. Los autores de la invención han descubierto que esto aporta la ventaja de una mejora en la fluidez de una fase de escoria que puede estar presente dentro del horno como parte del baño líquido. Sin embargo, los autores de la invención han descubierto que es preferible mantener la concentración de estos compuestos por debajo del límite de solubilidad del compuesto en el baño líquido, porque exceder la solubilidad puede causar la formación de una fase separada del compuesto particular en el horno. Una fase separada de este tipo corre el riesgo de deteriorar el contacto entre la otra fase líquida en el baño líquido con el gas adicional inyectado y/o el primer gas caliente generado por el soplete de plasma y/o los primeros gases calientes adicionales generados por el quemador de oxigén, si está presente. y, por lo tanto, puede perjudicar las reacciones químicas deseadas en el horno, dando lugar en particular a un deterioro de la evaporación del metal o compuesto metálico evaporable.

En una realización del procedimiento según la presente invención, se añade un segundo agente reductor a los primeros gases calientes de calidad plasma aguas arriba del al menos un primer inyector. Esto tiene la ventaja de que se introduce aún más agente reductor en el horno por encima de la cantidad que se puede introducir junto con el gas adicional. La cantidad de agente reductor adicional que puede introducirse a través del al menos un primer inyector es independiente de la entrada de entalpía en el horno. Por lo tanto, este método de introducir agente reductor es muy conveniente para controlar la propiedad redox de la atmósfera dentro del horno. Una ventaja adicional es que el agente reductor introducido a través del primer inyector se introduce junto con la entrada de entalpía de temperatura más alta en el horno. A una temperatura más alta, la constante de equilibrio de la reacción de volatilización de zinc deseada (I) favorece la formación de zinc metálico, que es un metal o compuesto metálico evaporable. La eficacia del agente reductor introducido con los primeros gases calientes procedentes del soplete de plasma es por lo tanto mayor, y como esta inyección también se realiza mediante un inyector sumergido, también es muy eficaz debido al contacto muy íntimo de los primeros gases calientes con el líquido en el baño líquido, lo que significa que hay poca cantidad de este agente reductor que pueda alcanzar la superficie del baño líquido sin haber entrado en contacto con el líquido del baño.

En una realización del procedimiento según la presente invención que utiliza el segundo agente reductor, el segundo agente reductor se selecciona de un gas, un líquido y un sólido, y combinaciones de los mismos, seleccionándose preferiblemente el segundo agente reductor del grupo que consiste en gas natural, hidrocarburo gaseoso y/o líquido, fuelóleo, carbón vegetal o coque, y combinaciones de los mismos, siendo aún más preferiblemente coque, aún más preferiblemente coque de petróleo, preferiblemente en forma de partículas sólidas, más preferiblemente teniendo las partículas un diámetro medio de partículas de al menos como máximo 6 mm, incluso más preferiblemente como máximo 5, 4, 3, 2 o 1 mm, aún más preferiblemente como máximo 500 μm , preferiblemente como máximo 250, 200, 150, 100 o incluso 50 μm . Los autores de la invención han descubierto que la introducción del plasma a través del primer inyector proporciona una opción muy versátil para introducir agente reductor adicional, porque es altamente tolerante con respecto a la elección del agente reductor, en particular con respecto a su estado de la materia, pero también respecto de la cantidad que se puede introducir.

En una realización del procedimiento según la presente invención, que comprende la etapa de ajustar el potencial de oxígeno en la escoria dentro del intervalo de 10 a 10^{-9} Pa (es decir, 10^{-4} a 10^{-14} atm). Preferiblemente, el potencial de oxígeno en la escoria se ajusta mediante la adición del primer y/o segundo agente reductor. Gracias al uso de un soplete de plasma, prácticamente cualquier potencial de oxígeno se puede combinar con cualquier cantidad de generación de calor. En combinación con la recuperación de uno o más metales o compuestos metálicos evaporables, también se pueden extraer otros metales del material introducido en el horno. En una realización, el potencial de oxígeno en la escoria puede hacerse adecuado para reducir selectivamente compuestos metálicos en la escoria en una fase de metal fundido. Ejemplos de dichos metales típicos que se pueden reducir de la escoria son Cu, Ni, Sn, Pb, Ag, Au, Pt y Pd. La fase de metal fundido puede entonces recogerse en el fondo del horno. La fase de metal fundido puede entonces retirarse, de forma continua o intermitente, a través de un puerto de salida. Para este fin, el horno puede estar provisto de un revestimiento refractario en el fondo. En otra realización, cuando el material introducido en el horno y por lo tanto también la escoria comprende azufre o compuestos de azufre, también se puede obtener una fase de mata. El potencial de oxígeno en la escoria puede entonces hacerse adecuado para evitar la oxidación del azufre. Luego, los metales pueden recuperarse en una fase de mata fundida. Ejemplos de metales que

se pueden recuperar de la escoria en fase de mata son Fe, Cu, Ni, Sn, Pb, Ag, Au, Pt y Pd. La fase de mata fundida también puede recogerse entonces en el fondo del horno. La fase de mata fundida se puede eliminar, de forma continua o intermitente, a través de un puerto de salida. En otra realización más, se pueden obtener tanto una fase de metal como una fase de mata mediante el ajuste adecuado del potencial de oxígeno y el contenido de azufre. Como ejemplo no limitante, Au, Pt y Pd pueden reducirse a una fase metálica, mientras que Cu y Ni pueden hacerse que formen la fase de mata. La fase de mata normalmente aparece encima de la fase de metal, porque normalmente tiene una densidad menor que la fase de metal y porque las dos fases permanecen más o menos sin disolver entre sí. La fase de mata y la fase de metal pueden extraerse del horno por salidas separadas o por una salida común.

En una realización del procedimiento según la presente invención, la postcombustión se realiza dentro del horno de una sola cámara. Esto aporta la ventaja de representar un diseño de equipo mucho más compacto y, por lo tanto, un coste de inversión reducido.

En una realización del procedimiento según la presente invención, la postcombustión comprende la introducción en la zona de postcombustión de un gas que contiene oxígeno, preferiblemente seleccionado de aire, aire enriquecido con oxígeno y gas oxígeno purificado. Los autores de la invención han descubierto que esta opción representa una opción relativamente sencilla y de bajo coste de inversión para realizar la función de la zona de postcombustión. Los autores de la invención prefieren utilizar simplemente aire, como se ha explicado anteriormente.

En una realización del procedimiento según la presente invención, la forma oxidada del al menos un metal o compuesto metálico evaporable se recupera del gas en forma de un polvo. Los autores de la invención han descubierto que esta opción es mucho más segura en comparación con la alternativa en donde el metal se condensa para formar una fase metálica líquida, p. ej. como se explica en el documento US 4,588,436, porque el riesgo de ignición espontánea y/o explosión de los gases de escape del horno termina sustancialmente en la salida de la zona de postcombustión. Los autores de la invención también han descubierto que esta opción también tiene un coste de inversión relativamente bajo, p. ej. en relación con la alternativa descrita en el documento US 4,588,436.

En una realización del procedimiento según la presente invención, la recuperación de la forma oxidada del al menos un metal o compuesto metálico evaporable del gas comprende la filtración del gas que contiene la forma oxidada del al menos un metal o compuesto metálico evaporable usando un filtro, preferiblemente una tela filtrante. Como se explicó anteriormente, los autores de la invención prefieren usar mangas de tela de politetrafluoretileno (PTFE). En un filtro de gas de este tipo, las velocidades del gas pueden ser localmente muy bajas. Sin embargo, se espera que haya oxígeno presente. Por lo tanto, es importante para el procedimiento según la presente invención que sustancialmente toda la forma reducida del metal o compuesto metálico se haya oxidado a su forma oxidada, de modo que el riesgo de ignición espontánea y/o explosión sea aceptablemente bajo.

En una realización del procedimiento según la presente invención, el procedimiento comprende además una etapa de enfriamiento aguas arriba de la recuperación de la forma oxidada del al menos un metal o compuesto metálico evaporable del gas. Se pueden aplicar una variedad de métodos de enfriamiento adecuados, como se explicó anteriormente en el presente documento.

Normalmente, la última etapa en la secuencia de procesamiento de gas es un soplador o ventilador que empuja el gas desde la zona de recuperación a la chimenea de emisiones y también mejora la aspiración aguas arriba succionando el gas a través de la secuencia de zona de postcombustión, zona de enfriamiento opcional y zona de recuperación.

En una realización del procedimiento según la presente invención, el procedimiento comprende la formación de una fase de metal fundido, comprendiendo además el procedimiento la etapa de retirar la fase de metal fundido del horno. Los autores de la invención han descubierto que el procedimiento según la presente invención puede conducir posiblemente a la formación de una fase líquida fundida separada, producida por la reducción de metales menos volátiles a su forma elemental. Esta puede ser una fase de metal puro o una aleación fundida. En tales circunstancias, es muy conveniente retirar la fase separada de metal fundido del horno como un subproducto separado. En el caso de una aleación, se puede preferir procesar más la aleación de manera que al menos uno de los metales de la aleación se recupere por separado de algunos de los otros metales de la aleación. Este procesamiento adicional puede comprender etapas pirometalúrgicas y/o etapas electrolíticas.

En una realización del procedimiento según la presente invención, en donde la carga metálica comprende una escoria y en donde la escoria comprende azufre y/o compuestos de azufre, el procedimiento comprende además la etapa de formar una fase de mata fundida y una etapa adicional de retirar la fase de mata fundida del horno. Esta es una opción, opcionalmente además de la recuperación de un metal fundido líquido o una aleación del procedimiento.

En una realización del procedimiento según la presente invención, la carga metalúrgica se introduce en el horno en una forma líquida. Esto aporta la ventaja de que no es necesario derretir y/o fundir la carga metalúrgica como parte del procedimiento operado en el aparato y/u horno, lo que es beneficioso para el equilibrio térmico del horno y por lo tanto para la productividad del procedimiento y su equipamiento, es decir el propio horno.

5 En una realización del procedimiento según la presente invención, la carga metalúrgica es una escoria metalúrgica, seleccionándose preferiblemente la escoria metalúrgica de una escoria de fundición de cobre, una escoria de refinado de cobre y combinaciones de las mismas, y en donde el procedimiento produce una segunda escoria. Los autores de la invención han descubierto que el procedimiento (y el aparato) según la presente invención es muy adecuado para tratar las materias primas como se especifica.

10 En una realización del procedimiento según la presente invención, la escoria fundida tiene una temperatura media de menos de 50 grados Celsius por encima de la temperatura líquida de la escoria. Esto aporta la ventaja de que el revestimiento de congelación de escoria sólida que se forma contra las superficies internas de la pared del horno, y que ofrece protección para el revestimiento refractario, se mantiene fácilmente con un espesor suficiente para proporcionar protección y aislamiento térmico adecuados. Dicho revestimiento de congelación es muy beneficioso en términos del equilibrio térmico del horno, porque actúa como aislamiento térmico entre la escoria líquida caliente en el horno y la pared del horno, que preferiblemente se enfría para proteger su integridad mecánica. Por lo tanto, el revestimiento de congelación reduce las pérdidas de calor desde el horno a la pared enfriada.

15 En una realización del procedimiento según la presente invención, un óxido seleccionado de CaO, Al₂O₃, y combinaciones de los mismos, se añade a la escoria en el horno volatilizador, preferiblemente a una temperatura de al menos 1000°C, preferiblemente al menos 1050°C, más preferiblemente aproximadamente 1150°C. Esta característica aporta la ventaja adicional de que la composición final de la segunda escoria después de la etapa de volatilización puede optimizarse y estabilizarse aún más, y hacer que la escoria sea más adecuada para usos finales particulares posiblemente afectando también a la mineralogía. Los autores de la invención han descubierto que la adición a alta temperatura, tal como se especifica, y en estado fundido, es más eficaz para obtener los efectos deseados.

25 En una realización del procedimiento según la presente invención, la temperatura de la escoria en el horno es al menos la temperatura especificada en el párrafo anterior, más preferiblemente incluso mayor, tal como al menos 1200 o 1250 o 1300°C y más preferiblemente aproximadamente 1350°C. Esto aporta la ventaja de una constante de equilibrio más favorable entre el metal o compuesto metálico evaporable y su precursor en la escoria líquida. Una ventaja adicional de una temperatura más alta es que esto facilita la retirada de la escoria volatizada del horno, el llamado "sangrado", independientemente de si se hace por rebose o por sangrado inferior desde un orificio de sangrado inferior ubicado adecuadamente en la pared del horno.

30 En una realización del procedimiento según la presente invención, el procedimiento comprende además la etapa de enfriar la segunda escoria para que se convierta en un sólido, preferiblemente siendo la segunda escoria retirada primero del horno como un líquido. La ventaja es que el horno volatilizador puede ser liberado para un tratamiento adicional de escoria mientras la segunda escoria se está enfriando. La escoria se puede enfriar y/o solidificar poniendo en contacto la escoria con un medio de enfriamiento, tal como aire y/o agua, posiblemente aire ambiental.

35 En una realización del procedimiento según la presente invención, en donde la segunda escoria se enfría, el enfriamiento se realiza poniendo en contacto la segunda escoria líquida con agua. Los autores de la invención han descubierto que el enfriamiento con agua es muy eficaz y puede aplicarse de diversas maneras dando como resultado velocidades de enfriamiento relativamente bien controladas.

40 En una realización del procedimiento según la presente invención en donde se enfría la segunda escoria, la segunda escoria se enfría a una velocidad de al menos 30 grados Celsius por segundo, preferiblemente al menos 40 grados Celsius por segundo, más preferiblemente al menos 50 o 60 grados Celsius por segundo. Los autores de la invención han descubierto que con la mayor velocidad de enfriamiento, como se especifica, se puede obtener un mayor contenido amorfo de la escoria, lo cual es de interés para usos finales particulares, tales como cuando la escoria está destinada a usarse como aglutinante en la industria de la construcción.

45 En una realización del procedimiento según la presente invención en donde la segunda escoria se enfría, el procedimiento comprende además la etapa de triturar la segunda escoria sólida, preferiblemente triturar la segunda escoria hasta un polvo.

50 En una realización del procedimiento según la presente invención en donde se enfría la segunda escoria, la segunda escoria se enfría a una velocidad de menos de 40 grados Celsius por segundo, preferiblemente como máximo 30 grados Celsius por segundo, más preferiblemente como máximo 20 grados Celsius por segundo. Los autores de la invención han descubierto que con la velocidad de enfriamiento más baja, como se especifica, se puede obtener un contenido amorfo más bajo de la escoria y, por lo tanto, una cristalinidad más alta, lo cual es de interés para usos finales particulares, tales como cuando la escoria está destinada a ser utilizada como un agregado o con fines decorativos.

55 En una realización del procedimiento según la presente invención en donde se forma una segunda escoria mediante el procedimiento, el procedimiento comprende además la etapa de añadir la segunda escoria como un aglutinante o un agregado durante la producción de un objeto para la industria de la construcción. Los autores de la invención han descubierto que la segunda escoria se puede utilizar como un aglutinante para agregados, preferiblemente como un aglutinante activo, preferiblemente como un aglutinante que tiene actividad puzolánica. Los autores de la invención

han descubierto que la escoria puede actuar como un aglutinante en sustitución del cemento, tal como cuando se sustituye parcialmente el cemento, tal como el cemento Portland, pero también como aglutinante para producir composiciones de geopolímeros.

5 En una realización del procedimiento según la presente invención en donde la escoria se utiliza como aglutinante durante la producción de un objeto para la industria de la construcción, el objeto comprende además un agregado, en donde el agregado comprende preferiblemente arena y/o la segunda escoria.

10 En una realización del procedimiento según la presente invención en donde la escoria se usa como aglutinante durante la producción de un objeto para la industria de la construcción y el objeto comprende además un agregado, el procedimiento comprende además la etapa de añadir un activador durante la producción del objeto. Los autores de la invención han descubierto que la segunda escoria puede actuar como un aglutinante activo, capaz de reaccionar con un activador adecuado y, por lo tanto, presentar propiedades aglutinantes fuertes para los agregados. Por lo tanto, la segunda escoria se puede utilizar en sustitución del cemento Portland o como el único aglutinante en un objeto, en cuyo caso se considera un "geopolímero", que aporta, p. ej., propiedades resistentes al fuego y al calor a revestimientos, adhesivos, materiales compuestos, etc.

15 En una realización del procedimiento según la presente invención que utiliza un activador, el activador se selecciona del grupo que consiste en hidróxido de sodio, NaOH, hidróxido de potasio, KOH, silicato de sodio, Na₂SiO₃, silicato de potasio, K₂SiO₃ y combinaciones de los mismos, siendo preferiblemente el activador NaOH.

En una realización del procedimiento según la presente invención en donde se forma un objeto para la industria de la construcción, el objeto para la industria de la construcción es un elemento de construcción.

20 En una realización del procedimiento según la presente invención en donde se forma un elemento de construcción, el elemento de construcción se selecciona de la lista que consiste en una baldosa, un adoquín, un bloque, un bloque de hormigón y combinaciones de los mismos.

En una realización del procedimiento según la presente invención en donde se forma un objeto para la industria de la construcción, el objeto para la industria de la construcción tiene una estructura esponjosa.

25 En una realización del uso según la presente invención, la carga metalúrgica se selecciona de una escoria de fundición de cobre y una escoria de refinado de cobre, y combinaciones de las mismas.

En una realización del uso según la presente invención, el metal o compuesto metálico evaporable se selecciona de zinc, plomo, estaño, bismuto, cadmio, indio, germanio y combinaciones de los mismos.

30 En una realización del procedimiento según la presente invención, al menos una parte del procedimiento se vigila y/o controla electrónicamente, preferiblemente mediante un programa informático. Los autores de la invención han descubierto que el control electrónico de las etapas del procedimiento según la presente invención, preferiblemente mediante un programa informático, aporta la ventaja de un procesamiento mucho mejor, con resultados que son mucho más predecibles y que se acercan más a los objetivos del procedimiento. Por ejemplo, basándose en mediciones de temperatura, si se desea también mediciones de presión y/o nivel y/o en combinación con los resultados de análisis químicos de muestras tomadas de corrientes del procedimiento y/o resultados analíticos obtenidos en línea, el programa de control puede controlar el equipo relacionado con el suministro o retirada de energía eléctrica, suministro de calor o de un medio de refrigeración, un control de flujo y/o presión. Los autores de la invención han descubierto que dicha vigilancia o control es particularmente ventajoso con etapas que se operan en modo continuo, pero que también puede ser ventajoso con etapas que se operan en discontinuo o semicontinuo. Además, y preferiblemente, los resultados de la vigilancia obtenidos durante o después de la realización de las etapas en el procedimiento según la presente invención también son útiles para la vigilancia y/o control de otras etapas como parte del procedimiento según la presente invención, y/o de procedimientos que se aplican aguas arriba o aguas abajo del procedimiento según la presente invención, como parte de un procedimiento global dentro del cual el procedimiento según la presente invención es sólo una parte. Preferiblemente, todo el procedimiento global se vigila electrónicamente, más preferiblemente mediante al menos un programa informático. Preferiblemente, el procedimiento global se controla electrónicamente tanto como se pueda.

50 Los autores de la invención prefieren que el control informático también proporcione el que se transmitan datos e instrucciones desde un ordenador o programa informático a al menos otro ordenador o programa informático o módulo del mismo programa informático, para la vigilancia y/o control de otros procedimientos, incluidos, pero no limitados a, los procedimientos descritos en este documento.

Ejemplo 1

En este ejemplo 1, se proporcionó un horno equipado con 3 generadores de plasma.

55 El horno, también llamado "el aparato", "el reactor" o "el volatilizador", tenía una altura total desde el fondo al puerto de alimentación superior de aproximadamente 7,34 m. La parte superior del horno estaba formada por una cúpula que comprendía el puerto de alimentación superior y el conducto de evacuación de gases de escape. Debajo de la cúpula

superior que tenía una altura de 1,09 m, el horno comprendía una sección superior, cilíndrica alrededor de un eje vertical, de aproximadamente 3,00 m de altura que tenía un diámetro exterior de 5,50 m. Debajo de esta sección superior, el horno se estrechaba a lo largo de una distancia de altura de aproximadamente 1,66 y terminaba en una sección cilíndrica inferior que tenía un diámetro de aproximadamente 3,19 m y una altura de 1,00 m. La cúpula inferior tenía una altura de 0,60 m. La sección cilíndrica inferior tenía una altura de 1,00 m y la sección cónica una altura de 1,66 m.

Durante el funcionamiento, el horno se supone que contenía un baño líquido de fundido hasta al menos por encima de la abertura más alta de los puntos de entrada de los primeros gases calientes de calidad plasma y de los gases calientes adicionales. Los autores de la invención prefieren para este fin mantener un nivel de líquido en el horno que es al menos tan alto como el fondo de la sección cónica. Más preferiblemente, el nivel del líquido se mantiene algo más alto, en algún lugar a la altura de la sección cónica. Si es necesario, se puede permitir que el nivel suba por encima de la sección cónica, pero debe permanecer por debajo del nivel en el que la carga estática se convierte demasiado en una carga para introducir los primeros gases calientes y/o los gases adicionales, de modo que la agitación del baño sufriría.

La carcasa del horno se proporcionó como una estructura de acero aleado de doble pared enfriada por agua, excepto las secciones bien protegidas por un revestimiento refractario, y estando provisto el espacio dentro de las paredes dobles durante el funcionamiento de agua de enfriamiento que fluye como parte de un circuito de bomba. Este enfriamiento se proporciona para proteger la integridad estructural, especialmente la resistencia mecánica, de la pared del reactor. El enfriamiento también hace que una parte de la escoria líquida dentro del horno solidifique contra la pared en un llamado "revestimiento de congelación", por debajo del nivel del líquido, pero debido a las salpicaduras también contra la mayor parte de la pared del horno por encima del nivel del líquido. Este revestimiento de congelación sólido protege las paredes contra muchas formas de desgaste químico y mecánico. También proporciona aislamiento térmico, reduciendo así el calor que puede perderse del contenido del horno al agua de enfriamiento. Debido a que durante el procedimiento también puede formarse alguna fase de metal fundido, la sección cilíndrica inferior y la cúpula inferior estaban revestidas con un material refractario adecuado, en este caso una combinación de ladrillos aislantes, revestimiento de desgaste y hormigón refractario. La mayoría de estas secciones no formaban parte del sistema de enfriamiento por agua.

En la pared de la sección cilíndrica inferior, y por lo tanto debajo del nivel del líquido durante la operación, se proporcionaron a lo largo del perímetro a la misma altura y aproximadamente equidistantemente, tres (3) generadores de plasma (PG) para inyectar sus gases calientes en el horno a través de toberas en una dirección perpendicular a la pared del horno.

Un generador de plasma es un dispositivo que produce gas muy caliente, al menos parcialmente transformado en plasma. Las temperaturas típicas del gas son 3500-5000°C. Este gas se calienta mediante energía eléctrica. Una alta diferencia de voltaje entre dos electrodos crea un arco eléctrico entre los electrodos. En este reactor en funcionamiento, se soplaba aire a través del arco y se calentaba con la energía del arco. A medida que aumenta la corriente eléctrica, se puede calentar más aire y se puede transferir más potencia al aire. La potencia del PG (W - expresada en Watt) se define como voltaje (V - Volt) * corriente eléctrica (A - Amperio). En el funcionamiento de este tipo de plasma existe una relación entre la potencia nominal del PG y la cantidad de aire que se puede soplar a través del PG.

Los tres generadores de plasma del reactor del ejemplo tenían una potencia nominal de 3 MW, y durante el funcionamiento del horno cada uno era alimentado con una cantidad de aire presurizado en el intervalo de 300-900 Nm³/h. Con la entalpía de referencia de 3,5 kWh/Nm³ para el gas producido, cada uno de los generadores de plasma era capaz de producir 857 Nm³ de gases calientes de calidad plasma como "gas primario".

Los PG no estaban instalados directamente en la pared del reactor. Soplaban sus gases calientes primeros (generados por plasma y de calidad plasma) al horno a través de una tobera. La tobera es una boquilla que forma una abertura en el reactor, a través de la cual se pueden alimentar los gases calientes al reactor. Esta tobera se puede utilizar además para mezclar volúmenes secundarios de gas natural y/o aire adicional en los gases calientes del PG, si es necesario. Preferiblemente, los autores de la invención mantienen un volumen sustancial de gases secundarios a través de la tobera en todo momento cuando hay un baño líquido caliente presente en el horno. El objetivo es que, incluso si fuera necesario apagar y/o retirar el PG, quede suficiente gas fluyendo a través de la tobera para evitar que el líquido caliente entre en la tobera y evitar el riesgo de que algo de líquido fluya aguas arriba a la tobera donde se enfría y solidifica, y que representaría una carga importante para su eliminación antes de que la tobera volviera a ser totalmente adecuada para el uso previsto.

Durante el funcionamiento se añadieron otros 90-200 Nm³/h de gas natural a los primeros gases calientes de cada PG a través de orificios en la tobera correspondiente. También se añadía normalmente aire adicional, con un caudal en el intervalo de 100-250 Nm³/h a través de cada una de estas toberas. Por lo tanto, estos volúmenes se consideran volúmenes de gas secundario.

El gas natural que se usó en este ejemplo comprendía 84,206% en vol de metano, 3,646% en vol de etano, 0,572% en vol de propano y 9,966% en vol de nitrógeno. El resto, <1% del volumen, se completaba con alcanos superiores, principalmente butanos y pentanos.

En frente de cada combinación de generador de plasma-tobera se proporcionó una tobera adicional para inyectar gas adicional en el horno, es decir, también 3 para todo el horno. Estas toberas o inyectores adicionales representan los segundos inyectores sumergidos según la presente invención. También estaban dispuestos para inyectar sus gases adicionales en una dirección perpendicular a la pared del horno, pero está planeado un cambio respecto a la opción preferida para inyectar en un ángulo hacia arriba en el baño.

Los segundos inyectores sumergidos se construyeron utilizando una tobera del mismo tipo que la utilizada aguas abajo de los generadores de plasma. Estas toberas, y por lo tanto también las toberas aguas abajo de los PG, están enfriadas por agua, tienen forma cilíndrica, tienen doble pared y sobresalen a través de la pared del horno al espacio del horno por debajo del nivel del baño líquido que se espera que esté en el horno durante el funcionamiento. Las toberas se proporcionan para inyectar gases secundarios en la doble pared de la tobera. El cilindro interior de la tobera está provisto de una pluralidad de orificios que permiten que los gases secundarios entren al volumen central de la tobera a través del cual pasan los gases primarios, que en el caso de un PG aguas arriba serían los gases calientes de calidad plasma generados en el propio PG. Los orificios se proporcionan preferiblemente como picos para dar al gas una velocidad adicional, con el fin de favorecer la mezcla de los gases secundarios con los gases primarios que pasan a través de la tobera. Con los segundos inyectores sumergidos, el PG se reemplazaba por una tubería simple que sobresalía a través de la tobera en la dirección del baño líquido y preferiblemente sobresalía sustancialmente hasta donde la tobera se extiende en el interior del horno. A través de esta tubería se podría impulsar el gas primario, tal como aire comprimido, complementado opcionalmente con una cantidad de gas natural. Se puede mezclar una cantidad de agente reductor adicional, tal como carbón en polvo fino, con el gas primario o uno de sus componentes.

Durante el funcionamiento, cada uno de los tres inyectores adicionales se alimentó con una cantidad del total de gases primarios y secundarios de 300 a 600 Nm³/h de aire comprimido en el que se mezcló una cantidad de 30-60 Nm³/h de gas natural y, en su caso, aproximadamente 150-200 kg/h de carbón en polvo como agente reductor extra. El carbón en polvo tenía un tamaño medio de partículas de 120 µm. La presión del gas aguas arriba de la tobera adicional era de 6 bar. La velocidad del gas en la tobera adicional durante el funcionamiento era normalmente superior a 330 m/s.

Para inyectar el carbón en polvo se utilizó un sistema de doble recipiente presurizado. El recipiente superior actuaba como un bloqueo de presión: permanecía a presión atmosférica cuando se llenaba desde una tolva ubicada en la parte superior del recipiente a presión, normalmente a través de una válvula de descarga. La tolva se llenaba mediante transporte mecánico, normalmente usando una cinta o tornillo de alimentación, pero también opcionalmente mediante descarga de sacos grandes. Después del llenado, este recipiente se presurizó hasta la presión de inyección. Posteriormente, el recipiente inferior, que se mantiene a presión de inyección, podría llenarse descargando el contenido del recipiente superior al recipiente inferior. Desde el recipiente inferior se proporcionó un sistema de alimentación regulado por peso para alimentar el carbón en polvo al aire de inyección. A continuación, el aire y el carbón en polvo se transportaban por presión a los inyectores adicionales y a la escoria líquida. La ventaja del sistema de doble recipiente es que se podía hacer que la entrada de agente reductor en el reactor permaneciera ininterrumpida.

Las toberas, los generadores de plasma y los inyectores estaban todos enfriados por agua.

En la parte superior del horno se proporcionó un enfriador de agua por radiación, proporcionado como un cilindro metálico de doble pared en el que los gases de escape del horno pasan a través del centro del cilindro y el agua de enfriamiento es empujada a través de la pared del cilindro.

Entre la parte superior del horno y el enfriador de agua por radiación, se permite que entre aire ambiental y se mezcle con los gases de escape del horno. El zinc evaporado y el CO presentes en el gas entran en contacto con el oxígeno en el aire, a la alta temperatura del gas, estas sustancias se inflaman espontáneamente y forman una zona de postcombustión. Gracias a la corriente sustancial dentro del horno y el enfriador de agua, los gases de escape fluyen a alta velocidad. Se permite que el aire ambiental entre a través de aberturas diseñadas adecuadamente de manera que el aire se mezcle rápida e intensamente con los gases de escape. Como resultado, se establece un frente de llama estable dentro del enfriador de agua por radiación y parte de su calor de radiación se irradia hacia abajo de vuelta desde la zona de postcombustión al horno, al baño líquido en el horno. La parte superior del horno y el enfriador de agua por radiación también están provistos de una pluralidad de puntos de inyección a través de los cuales se puede inyectar aire bajo presión en los gases de escape del horno. Esta capacidad se puede utilizar simultáneamente con permitir que el aire ambiental entre a través de las aberturas. Preferiblemente, sin embargo, las aberturas para permitir la entrada de aire ambiental están sustancialmente cerradas y sustancialmente todo el oxígeno requerido se introduce a través de los puntos de inyección. Se prefiere este modo de operación porque la entrada de oxígeno es más estable y mejor controlable que las alternativas en donde se permite la entrada de aire de aspiración.

Dentro de la zona del postquemador, el gas alcanza temperaturas de hasta 1500 °C.

El gas que salía de la zona de postcombustión estaba aproximadamente a una temperatura de 1200°C. Aguas abajo del enfriador de agua por radiación se inyectaban en la corriente de gas aproximadamente 6-7000 litros/hora de agua. Esta etapa de enfriamiento por pulverización reduce la temperatura del gas hasta aproximadamente 220°C.

El gas húmedo de la etapa de enfriamiento por pulverización se dirigía a un filtro de gas en el que se proporcionan mangas de PTFE porosas sobre puntas cilíndricas y las mangas retienen el polvo representado por la forma oxidada del metal o compuesto metálico evaporable formado en la zona de postcombustión.

5 Aguas abajo del filtro de gas, un ventilador proporciona la succión del horno y el soplado del gas filtrado hacia la chimenea de emisión.

10 El procedimiento de volatilización y el horno se operaron en modo discontinuo. Los lotes de operación descritos a continuación consistían en una secuencia bien definida de etapas de procedimiento distinguibles. Durante las diferentes etapas del procedimiento se introdujeron en el reactor más o menos energía eléctrica, carbón en polvo, aire y gas natural, según el efecto deseado. El funcionamiento de los PG, las toberas y los inyectores, o toberas, adicionales variaba según la etapa del procedimiento. Las diferentes etapas se describen ahora en detalle.

Primera etapa del procedimiento: llenado de líquido del horno:

Al comienzo del lote, se alimentaron 76.900 kg de escoria líquida de la fundición de cobre aguas arriba en 4 cucharas de escoria con un peso neto de aproximadamente 19 toneladas cada una, medido por el dispositivo de pesaje en la grúa de puente que transfiere las cucharas de escoria entre diferentes hornos.

15 En la fundición de cobre aguas arriba, la escoria se mezcla bien antes de verterla desde el horno de fundición. Por lo tanto, la composición de la escoria puede considerarse que es homogénea. La composición de la mayoría de los metales en la escoria se midió mediante espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES), también conocida como espectrometría de emisión óptica acoplada inductivamente (ICP-OES), y a veces simplemente denominada ICP, y para SiO₂ por difracción de rayos X (XRF). La técnica XRD utilizada fue el análisis
20 cuantitativo de difracción de rayos X utilizando el Software Académico Topas V5, utilizando Al₂O₃ como patrón interno..

Tabla I: Composición de la escoria de alimentación

Elemento (% en peso)	Análisis
Cu	0,60
Pb	0,46
Sn	0,11
Ni	0,04
Fe	30,63
Si	0,00
Al	0,00
Zn	11,48
Bi	0,00
As	0,00
Sb	0,00
CaO	3,09
SiO ₂	25,07
Al ₂ O ₃	6,88

25 Para esta etapa del procedimiento, los PG se ajustaron a un nivel de potencia de 1400 kW cada uno y un flujo medio de aire de aproximadamente 437 Nm³/h por PG como gas primario. Además, se utilizaron los siguientes gases secundarios. El flujo de gas natural a través de la tobera se controló a 125 Nm³/h. El flujo de aire a través de la tobera se controló a un nivel de 100 Nm³/h.

El flujo total de gases primarios y secundarios a través de los inyectores adicionales como segundos inyectores sumergidos se ajustó por inyector en 380 Nm³/h de aire, se añadió gas natural a un caudal de 44 Nm³/h. La inyección de carbón en polvo todavía no se activó en esta etapa del procedimiento.

30

Segunda etapa del procedimiento: etapa de volatilización

Después del llenado de la escoria líquida, se inició la etapa de volatilización. En esta etapa, se aumentan la entrada de energía y de agente reductor para promover la volatilización del zinc en forma de vapor.

5 Los PG se pusieron a un nivel de potencia de 2500 kW cada uno y un flujo de aire primario medio de 714 Nm³/h por PG. Además, se utilizaron los siguientes gases secundarios. Se añadió gas natural a cada una de las toberas aguas abajo de los PG, y esto a un caudal de 148 Nm³/h. El flujo de aire adicional a través de la tobera se ajustó a 100 Nm³/h.

El flujo total de gases primarios y secundarios a través de los inyectores adicionales se alimentó con aire a 380 Nm³/h por inyector. Se añadió gas natural a cada inyector a 44 Nm³/h. La inyección de carbón en polvo a cada inyector se ajustó a 180 kg/h.

10 La entrada de energía y de agente reductor produjo la volatilización de compuestos volátiles de la escoria líquida. El elemento más volátil era el Zn. Estaba presente en la escoria como óxido de zinc (ZnO). La temperatura en el reactor se mantuvo en un intervalo de 1180-1250°C, asegurando que la escoria permanecía fluida. Gracias a los distintos agentes reductores, es decir, el carbón en polvo y las distintas entradas de gas natural, el ZnO se reducía a zinc metálico (Zn). A presión atmosférica, el Zn puede vaporizarse a una temperatura superior a 906°C. De este modo, el
15 Zn se evaporaba del baño de escoria y era transportado como parte de los gases de procedimiento desde el horno al equipo de tratamiento de gases de escape del horno.

En el conducto de evacuación de gases de escape del reactor se mezclaron grandes cantidades de aire con los gases de procedimiento, produciendo la combustión posterior completa de los gases de procedimiento. Cualquier CO, Zn, H₂ restante en esa etapa se oxidaba completamente. El zinc en forma de vapor se oxida a ZnO formando una partícula
20 sólida. Este ZnO formaba así un polvo en la corriente de gases de escape del procedimiento de combustión. Esta etapa de postcombustión o combustión posterior va seguida de una etapa de enfriamiento. A la salida de la etapa de enfriamiento la temperatura de los gases de procedimiento estaba por debajo de 220°C. A continuación, los gases del procedimiento se filtraron en un filtro de bolsa con telas de PTFE. Después de la filtración, los gases del procedimiento se evacuaron a la atmósfera a través de una chimenea. Las partículas de polvo de ZnO se recuperaron en el filtro, se
25 enfriaron y se almacenaron en un silo de polvo. Desde el silo, el producto en polvo rico en Zn podría descargarse en camiones silo para su venta.

Se tomaron muestras durante la volatilización y se analizaron con el método XRF, rápido pero ligeramente menos preciso. Cuando se alcanzó el nivel deseado de Zn en la escoria del horno, se detuvo la volatilización y se inició la etapa de recorte.

30 Tercera etapa del procedimiento: recorte

El propósito de esta etapa era oxidar el último carbón en polvo que quedaba en la carga del horno y calentar la escoria a una temperatura de sangrado más adecuada. La temperatura objetivo era 1220-1250°C.

Los PG se mantuvieron funcionando a un nivel de potencia de 2500 kW cada uno, y con un flujo medio de aire primario de 714 Nm³/h por PG. Además, se utilizaron los siguientes gases secundarios. El flujo de gas natural a través de la
35 tobera se ajustó a 102 Nm³/h. El flujo de aire a través de la tobera se ajustó a 100 Nm³/h.

Como el flujo total de gases primarios y secundarios a través de los inyectores adicionales, estos segundos inyectores sumergidos se alimentaron cada uno con 380 Nm³/h de aire y 44 Nm³/h de gas natural. La inyección de carbón en polvo se interrumpió durante esta etapa de recorte.

No se tomó muestra de escoria después de completar la etapa de recorte. Inmediatamente se inició el sangrado.

40 Cuarta etapa del procedimiento: sangrado de la escoria y granulación.

El objetivo de esta etapa es extraer la escoria líquida del reactor. Se perforó el orificio de sangrado situado en el lateral del reactor y se dejó que la escoria líquida fluyera fuera del reactor en un canal. Desde ese canal, el producto de escoria se granuló mediante un sistema de granulación con agua en el que se pulverizó un gran volumen de agua en la corriente de escoria que caía, solidificando así la escoria líquida y rompiendo el sólido formado en partículas de ±1
45 mm.

Los PG continuaron funcionando durante esta etapa de sangrado y granulación a un nivel de potencia de 2000 kW cada uno, con un flujo medio de aire primario de 606 Nm³/h por PG. Como gases secundarios, se instaló un flujo de gas natural a la tobera de 128 Nm³/h y luego se ajustó el flujo de aire directamente a la tobera a 100 Nm³/h.

Los inyectores adicionales también continuaron funcionando con aire con un caudal de 380 Nm³/h por inyector y gas natural a 44 Nm³/h en total para gases primarios y secundarios. Se interrumpió la inyección de carbón en polvo.
50

Se tomaron muestras del producto final después de la granulación. Se considera que la composición es cercana a la composición de la escoria inmediatamente después de la etapa de volatilización.

En la Tabla II se muestran parámetros de funcionamiento adicionales para los PG en cada etapa del procedimiento, en los que la "Entalpía" se calcula a partir de la potencia de entrada a los PG y el flujo de aire que se alimenta a los PG.

Tabla II: Parámetros de funcionamiento de los PG

Etapa	Relación de volumen de aire/gas natural	Entalpía kWh/Nm ³
Llenado	5,5	3,2
Volatilización	5,5	3,5
Recorte	8	3,5
Granulación	5,5	3,3

5

La evolución de la composición de la escoria durante el lote se ilustra en la Tabla III, que muestra los resultados de los análisis de las muestras de escoria que se tomaron después de cada etapa:

Tabla III: Evolución de la Composición de la escoria

Elemento (% en peso)	Alimentación	Después del llenado	Después de volatilización	Granulado
Cu	0,60	0,57	0,48	0,42
Pb	0,46	0,44	0,03	0,025
Sn	0,11	0,10	0,08	0,07
Ni	0,04	0,05	0,03	0,03
Fe	30,63	30,80	35,63	35,8
Zn	11,48	11,08	1,64	1,58
CaO	3,09	3,10	3,78	3,75
SiO ₂	25,07	25,15	29,64	29,82
Al ₂ O ₃	6,88	6,95	7,58	7,74

10 Composición del material de salida

Este lote produjo aproximadamente 10.500 kg de polvo de filtrado, con una composición como se muestra en la Tabla IV, resultado de un análisis ICP de una muestra representativa:

Tabla IV: Composición del producto de polvo de filtro

Polvo de filtrado	% en peso
Cu	0,09
Sn	0,09
Pb	2,98
Zn	73,46
Ni	0,00
Fe	0,91
Bi	0,49
As	0,00
CL	0,79
Sb	0,00
S	0,05
Al	0,05
Co	0,05
Cd	0,00

15 Para fines comparativos se realizó un segundo lote en donde todavía no se habían instalado las toberas adicionales. Con el fin de proporcionar una cantidad similar de agente reductor durante la etapa de volatilización, se introdujo la misma cantidad de carbón introduciendo coque de petróleo grueso que tiene un tamaño de partículas en el intervalo de 6-10 mm a través del puerto de alimentación.

20 La cantidad y composición de la alimentación de escoria líquida fue muy comparable a la del primer lote, al igual que el tiempo de alimentación, el tiempo de recorte y el tiempo de sangrado. Principalmente difería el tiempo de volatilización.

Las cantidades y composiciones del producto después de la granulación y del polvo de filtrado eran comparables.

5 El tiempo necesario para la etapa de volatilización para obtener un contenido de Zn muy similar en la escoria final fue significativamente mayor en este lote comparativo en comparación con el lote según la invención que se describió anteriormente. Esto significa que el lote comparativo tenía una tasa de volatilización de zinc significativamente menor en comparación con el ejemplo de trabajo, por lo tanto, que la presente invención aumentó significativamente la tasa de volatilización de zinc durante la etapa de volatilización.

Ejemplo 2

En este ejemplo 2, se utilizó el mismo horno que en el ejemplo 1, pero con una configuración diferente en relación con la segunda inyección de gas sumergida. El suministro de gas natural fue el mismo, así como la calidad del mismo.

10 Al mismo nivel o altura de las tres combinaciones de generador de plasma-tobera esta vez se proporcionó sólo una combinación de inyector-tobera adicional como un único segundo inyector sumergido para inyectar gas adicional y coque fino en el horno. La tobera estaba enfriada por agua y se inyectó un caudal constante de 350-400 Nm³/h de aire a través de la tobera y posteriormente a través de los orificios en la pared interior de la tobera. En este ejemplo no se utilizó el suministro de gas natural.

15 El inyector colocado dentro de la combinación de inyector-tobera adicional alimentaba gases adicionales en el baño de escoria líquida en una dirección perpendicular a la pared del horno. Durante el funcionamiento se alimentó una cantidad de 100-400 Nm³/h de aire comprimido como gases primarios al inyector adicional, en el que se mezcló una cantidad, según fuera adecuado, de aproximadamente 100-700 kg/h de carbón en polvo como agente reductor adicional. El carbón en polvo tenía un tamaño medio de partículas de 120 µm. La presión del gas comprimido aguas arriba del segundo conjunto de inyector sumergido era de 6 bar.

20 La velocidad del gas en la combinación de inyector-tobera adicional fue durante el funcionamiento normalmente superior a 150 m/s.

Primera etapa del procedimiento: llenado de líquido del horno:

Se utilizó el mismo procedimiento, calidades y cantidades que en esta etapa como parte del Ejemplo 1, con las siguientes excepciones.

25 El flujo de gases secundarios a través de la única tobera adicional como parte de la única combinación de inyector-tobera adicional se fijó en 350 Nm³/h de aire y no se añadió gas natural. El flujo de gases primarios a través del inyector adicional como parte de la única combinación de inyector-tobera adicional se fijó en 200 Nm³/h de aire. En esta etapa del procedimiento todavía no se activó la inyección de coque fino.

Segunda etapa del procedimiento: etapa de volatilización

30 Se aplicó el mismo procedimiento que en el Ejemplo 1.

Los PG se pusieron de nuevo a un nivel de potencia de 2500 kW cada uno y un flujo medio de aire primario de 714 Nm³/h por PG. Además, se utilizaron los siguientes gases secundarios. Se añadió gas natural a cada una de las toberas aguas abajo de los PG, y esto con un caudal de 148 Nm³/h. El flujo de aire adicional a través de la tobera se ajustó a 100 Nm³/h.

35 El flujo de gas secundario a través de la tobera adicional como parte de la única combinación de inyector-tobera adicional fue de 350 Nm³/h de aire, al que no se le añadió gas natural. Como gas primario, el flujo a través del inyector adicional como parte de la combinación de inyector-tobera adicional se ajustó a 200 Nm³/h de aire. En esta etapa del procedimiento la inyección de coque fino se ajustó a 700 kg/h.

40 La temperatura en el reactor se mantuvo en un intervalo de 1180-1250°C, asegurando que la escoria permanecía fluida. Gracias a los diversos agentes reductores, es decir, el carbón en polvo y las diversas entradas de gas natural, el ZnO se reducía a zinc metálico (Zn). De este modo, el Zn se evaporaba del baño de escoria y era transportado como parte de los gases de procedimiento desde el horno al equipo de tratamiento de gases de escape del horno.

45 Se tomaron muestras durante la volatilización y se analizaron con el método XRF, rápido pero ligeramente menos preciso. Cuando se alcanzó el nivel deseado de Zn en la escoria en el horno, se detuvo la volatilización y se inició la etapa de recorte.

Tercera etapa del procedimiento: recorte

La temperatura objetivo volvió a ser de 1220-1250°C.

50 Los PG se mantuvieron funcionando a un nivel de potencia de 2500 kW cada uno y con un flujo medio de aire de 714 Nm³/h por PG. Además, se utilizaron los siguientes gases secundarios. El flujo de gas natural a través de la tobera se ajustó a 102 Nm³/h. El flujo de aire a través de la tobera se ajustó a 100 Nm³/h.

El flujo de gas secundario a través de la tobera adicional como parte de la única combinación de inyector-tobera adicional se ajustó a 350 Nm³/h de aire y no se añadió gas natural. El flujo de gas primario a través del inyector adicional como parte de la única combinación de inyector-tobera adicional se ajustó a 200 Nm³/h de aire. En esta etapa del procedimiento todavía no se activó la inyección de coque fino.

- 5 No se tomó muestra de escoria después de completar la etapa de recorte. Inmediatamente se inició el sangrado.

Cuarta etapa del procedimiento: sangrado de la escoria y granulación.

Se aplicó el mismo procedimiento que en el Ejemplo 1.

- 10 Los PG continuaron funcionando de nuevo durante esta etapa de sangrado y granulación a un nivel de potencia de 2000 kW cada uno, con un flujo medio de aire primario de 606 Nm³/h por PG. Como gases secundarios se utilizó un flujo de gas natural a la tobera de 128 Nm³/h, y un flujo de aire directo a la tobera de 100 Nm³/h.

El flujo de gases secundarios a través de la tobera adicional como parte de la única combinación de inyector-tobera adicional era de 350 Nm³/h de aire y no se añadió gas natural. El flujo de gas primario a través del inyector adicional como parte de la única combinación de inyector-tobera adicional se ajustó a 200 Nm³/h de aire. En esta etapa del procedimiento todavía no se activó la inyección de coque fino.

- 15 Se tomaron muestras del producto final después de la granulación. Se considera que la composición es cercana a la composición de la escoria inmediatamente después de la etapa de volatilización.

Los parámetros operativos adicionales para los PG en cada etapa del procedimiento fueron los mismos que se muestran en la Tabla II como parte del Ejemplo 1.

- 20 Los resultados finales de este ejemplo fueron muy similares a los del Ejemplo 1, sólo que se obtuvieron nuevamente en un tiempo más corto que con el lote realizado por razones de comparación como parte del Ejemplo 1.

- 25 Los autores de la invención descubrieron que se podría establecer un aumento significativo en la tasa de producción con las realizaciones según la presente invención, también con el Ejemplo 2. Los autores de la invención creen que este efecto se debe a una combinación de (i) mayor agitación del baño, (ii) más extracción de gas, (iii) más agente reductor, y probablemente lo más importante (iv) el uso de un agente reductor sólido que tiene un tamaño de partículas mucho más pequeño, de modo que el agente reductor es mucho más reactivo. Este efecto permite alcanzar las condiciones operativas de volatilización objetivo mucho más rápido en comparación con el coque de petróleo grueso. La combinación de los efectos beneficiosos permitió que la etapa de volatilización fuera mucho más rápida en pleno funcionamiento, como se muestra por el aumento mucho más rápido del calor que necesitaba ser retirado de la zona de combustión posterior, y también que la etapa de recorte se podía reducir en tiempo muy significativamente, casi en un orden de magnitud, porque el tiempo requerido podía reducirse de aproximadamente un cuarto de hora a tan solo 2-3 minutos. El horno de volatilización con el(los) segundo(s) inyector(es) sumergido(s) podía funcionar de manera más estable, con un rendimiento mayor y más cerca del máximo de sus capacidades.

- 35 Habiendo descrito ahora completamente esta invención, los expertos en la técnica apreciarán que la invención se puede realizar dentro de una amplia variedad de parámetros dentro de lo que se reivindica, sin apartarse del alcance de la invención, tal como se define en las reivindicaciones. Cabe señalar que las realizaciones descritas, a menos que se especifique específicamente, no se consideran parte de la invención reivindicada per se.

REIVINDICACIONES

1. Un horno de una sola cámara para la volatilización de al menos un metal o compuesto metálico evaporable de una carga metalúrgica que comprende un horno de baño susceptible de contener una carga fundida hasta un nivel determinado, de modo que el horno está equipado con al menos un soplete de plasma no transferido para la generación de primeros gases calientes de calidad plasma y con al menos un primer inyector sumergido para inyectar los primeros gases calientes del soplete de plasma por debajo del nivel determinado, de modo que el horno comprende además una zona de postcombustión para oxidar el al menos un metal o compuesto metálico evaporable en el gas de volatilización, aguas abajo de la parte superior del horno, para formar una forma oxidada del al menos un metal o compuesto metálico evaporable, una zona de enfriamiento para enfriar el gas que se forma en la zona de postcombustión, y una zona de recuperación, aguas abajo de la zona de enfriamiento, para recuperar la forma oxidada del al menos un metal o compuesto metálico evaporable del gas formado en la zona de postcombustión y enfriado en la zona de enfriamiento, caracterizado por que el horno está además equipado con al menos un segundo inyector sumergido diferente del primer inyector sumergido para inyectar gas adicional al horno por debajo del nivel determinado.
2. El horno según la reivindicación 1, en donde el al menos un segundo inyector dirige su gas adicional hacia un segundo volumen como parte del espacio interno del horno por debajo del nivel predeterminado que es diferente del primer volumen en el que el al menos un primer inyector dirige los primeros gases calientes de calidad plasma.
3. El horno según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende al menos dos y preferiblemente al menos tres primeros inyectores distribuidos a lo largo de un perímetro horizontal de la pared lateral del horno, de modo que el al menos un segundo inyector sumergido dirige su gas adicional hacia un volumen como parte del espacio interno del horno por debajo del nivel predeterminado aproximadamente cerca del eje vertical del horno y/o estando ubicado el al menos un segundo inyector sumergido a lo largo de la pared lateral del horno a aproximadamente la misma distancia entre las ubicaciones de los dos más cercanos de los al menos dos primeros inyectores.
4. El horno según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la zona de enfriamiento comprende un enfriador de agua por radiación seguido de un enfriador por pulverización.
5. El horno según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la zona de recuperación comprende una zona de filtrado de gas.
6. Un procedimiento para volatilizar al menos un metal o compuesto metálico evaporable de una carga metalúrgica usando el horno según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende las etapas de:
 - introducir la carga metalúrgica que comprende al menos un metal o compuesto metálico evaporable en el horno y formar un baño de carga fundida hasta el nivel determinado;
 - volatilizar una cantidad de al menos un metal o compuesto metálico evaporable, del baño usando los gases calientes de calidad plasma del al menos un soplete de plasma y al menos un agente reductor, produciendo de ese modo gas de volatilización que comprende el metal o compuesto metálico evaporable;
 - realizar la postcombustión en la zona de postcombustión del gas de volatilización para oxidar el al menos un metal o compuesto metálico evaporable a una forma oxidada del al menos un metal o compuesto metálico evaporable,
 - extraer del horno el gas formado en el horno y recuperar en la zona de recuperación la forma oxidada del al menos un metal o compuesto metálico evaporable del gas formado en la etapa de postcombustión;
 caracterizado por que durante al menos una parte de la etapa de volatilización se inyecta gas adicional mediante el al menos un segundo inyector en el baño y por debajo del nivel determinado, aumentando así la cantidad de vapores que comprenden el metal o compuesto metálico evaporable.
7. El procedimiento según la reivindicación 6, en donde el horno comprende una pluralidad de segundos inyectores, y en donde la cantidad de gas adicional que se inyecta a través de cada segundo inyector es al menos el 10% de la cantidad de primeros gases calientes que pueden ser generados mediante el elemento individual del al menos un soplete de plasma que tiene la potencia nominal más alta cuando este soplete suministra los primeros gases calientes que tienen un contenido de entalpía de al menos 3,5 kWh/Nm³, expresado en unidades volumétricas en condiciones normales.
8. El procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 6-7, en donde el gas adicional inyectado a través del al menos un segundo inyector se trata térmicamente aguas arriba del al menos un segundo inyector con el fin de modificar su contenido de entalpía, preferiblemente realizándose el tratamiento térmico del gas adicional utilizando al menos un intercambiador de calor.
9. El procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 6-8, en donde el gas adicional inyectado a través del al menos un segundo inyector comprende al menos un primer agente reductor.

- 5 10. El procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 6-9, en donde el al menos un metal o compuesto metálico evaporable es un metal en su forma elemental o un compuesto que contiene metal evaporable, seleccionándose preferiblemente el metal del grupo que consiste en zinc, plomo, estaño, bismuto, cadmio, indio, germanio y combinaciones de los mismos y también preferiblemente seleccionándose el compuesto que contiene metal de un cloruro, un óxido, un sulfuro y combinaciones de los mismos.
11. El procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 10, en donde la forma oxidada del al menos un metal o compuesto metálico evaporable se recupera del gas en forma de un polvo.
12. El procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 11, en donde la carga metalúrgica es una escoria metalúrgica y en donde el procedimiento produce una segunda escoria.
- 10 13. El procedimiento según la reivindicación 12, que comprende además la etapa de enfriar la segunda escoria para que se convierta en un sólido, siendo preferiblemente la segunda escoria retirada primero del horno como un líquido.
14. El procedimiento según la reivindicación 13, que comprende además la etapa de añadir la segunda escoria como un aglutinante o un agregado durante la producción de un objeto para la industria de la construcción.
- 15 15. Uso del horno según una cualquiera de las reivindicaciones 1-5, para volatilizar al menos un metal o compuesto metálico evaporable de una carga metalúrgica.