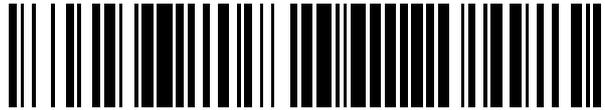


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 566 607**

51 Int. Cl.:

**C23C 14/24** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.03.2013** **E 13712692 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.03.2016** **EP 2831305**

54 Título: **Método y aparato para cargar metal líquido en un dispositivo evaporador**

30 Prioridad:

**30.03.2012 EP 12002348**

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

**14.04.2016**

73 Titular/es:

**TATA STEEL NEDERLAND TECHNOLOGY B.V.**  
**(33.3%)**  
**Wenckebachstraat 1**  
**NL-1951 JZ VELSEN-NOORD, NL;**  
**SIDRABE, INC. (33.3%) y**  
**POSCO (33.3%)**

72 Inventor/es:

**PIPKEVICS, GRIGORI;**  
**ZEILIA, ROBERTS;**  
**GELFGATS, JURIJS;**  
**BOJAREVICS, ANDRIS;**  
**GOODENOUGH, MARK, ROBERT;**  
**BAPTISTE, LAURENT, CHRISTOPHE, BERNARD**  
**y**  
**MAALMAN, THEODORUS, FRANCISCUS, JOZEF**

74 Agente/Representante:

**LAZCANO GAINZA, Jesús**

**ES 2 566 607 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Método y aparato para cargar metal líquido en un dispositivo evaporador

5 Campo de la invención

La invención se relaciona con un método y aparato para cargar un metal líquido en un dispositivo evaporador en una cámara de vacío. Dicho evaporador se utiliza por ejemplo en un proceso de detección física en fase de vapor (PVD) en donde se deposita vapor de metal sobre un sustrato tal como un fleje de acero.

10

Antecedentes de la invención

15 En los procesos PVD y más particularmente en procesos PVD de continuos o semicontinuos es necesario proporcionar un suministro estable de metal líquido al dispositivo evaporador en donde el suministro esté en balance cercano con el metal líquido evaporado en el dispositivo evaporador. Esto es particularmente exigente con procesos PVD es de alta velocidad tal como la deposición de metal evaporado sobre el fleje de acero.

20 En la solicitud de patente KR 20110034420 se describe un aparato para cargar material líquido a un dispositivo evaporador para dichos procesos PVD. Se sabe que este aparato está provisto con medios para medir el nivel de metal líquido en el recipiente de suministro, cuyas mediciones se cargan en una unidad de control. El procesamiento de los cambios medidos en el nivel de metal líquido da la velocidad de flujo del metal líquido hacia el dispositivo evaporador. Cualquier desfase de dicha velocidad de flujo con la demanda de metal líquido. En el dispositivo evaporador resulta en una señal de control prepara un dispositivo con el fin de ajustar la velocidad de flujo del metal líquido. El dispositivo para  
25 ajustar la velocidad de flujo de metal líquido comprende un elemento cónico sobre un extremo de barra que se puede mover mediante un motor eléctrico con respecto al extremo abierto de un tubo de carga sumergido en el metal líquido en el recipiente de suministro con el mismo ajustando la velocidad de flujo.

30 Ajustar la velocidad de flujo del metal líquido sobre la base de cambios medidos del nivel de metal líquido en el recipiente no permite el ajuste inmediato y preciso de la velocidad de flujo.

35 En el documento WO 2005/116290 se describe un aparato para cargar metal líquido a un dispositivo evaporador en donde se utiliza una bomba electromagnética para cargar el metal líquido en el dispositivo evaporador y en donde se utiliza un circuito que comprende un depósito de metal líquido separado con sensores de nivel para ajustar la velocidad de flujo del metal líquido al dispositivo evaporador.

Objetivos de la invención

40 Es el objetivo de la presente invención proporcionar un método y un aparato que permita el ajuste inmediato de la velocidad del flujo de flujo de metal líquido suministrado al dispositivo evaporador.

Es un objetivo adicional de la presente invención proporcionar un método y aparato que permita el ajuste inmediato de la velocidad de flujo de metal líquido suministrado al dispositivo evaporador dependiendo de la demanda de metal líquido en el dispositivo evaporador.

45 Es otro objetivo o de la presente invención proporcionar un método y aparato en donde se controlan las fluctuaciones en la presión ejercida sobre el metal líquido en el suministro.

50 Es otro objetivo de la presente invención proporcionar un método y aparato que permita el ajuste inmediato de la velocidad de flujo de Zn líquido y aleaciones de Zn, que incluyen Zn-Mg, a un dispositivo evaporador.

Es otro objetivo de la presente invención proporcionar un método y aparato que requiera un mínimo de dispositivos en contacto directo con el flujo de metal líquido al dispositivo evaporador.

55 Es todavía otro objetivo de la presente invención proporcionar un aparato que sea relativamente simple y se pueda fabricar en forma económica.

Descripción de la invención

60 De acuerdo con un primer aspecto de la invención se realizan en uno o más objetivos de la misma al proporcionar un método para suministrar un metal líquido desde un recipiente para contener metal líquido a través de un tubo de alimentación a un dispositivo evaporador en una cámara de vacío en donde el metal líquido se suministra bajo presión de tal manera que la velocidad de flujo del metal líquido suministrado sin regulación es mayor que la demanda de metal líquido en el dispositivo evaporador y en donde la velocidad de flujo se regula al generar una contrapresión en el metal líquido en el tubo de alimentación por medio de una bomba electromagnética que depende de la demanda de metal  
65 líquido en el dispositivo evaporador.

De acuerdo con este método la presión ejercida sobre el metal líquido siempre es tal que la velocidad de flujo del metal líquido que resulta de la presión ejercida es mayor que la demanda de metal líquido del dispositivo evaporador y se regula con el fin de cumplir la demanda de velocidad de flujo al generar una contrapresión en el suministro de metal líquido. Cuando la velocidad de flujo del metal líquido se regula a la cantidad requerida por el dispositivo evaporador, sólo se tiene que regular la velocidad de flujo para controlar cualquier desviación en la presión ejercida en el metal líquido en el tubo de alimentación.

El término "metal" como se utiliza en esta descripción significa un metal y aleaciones de metal a menos que se diferencien expresamente.

De acuerdo con otro aspecto de la invención se prevé que el metal líquido en el recipiente para contener metal líquido esté presurizado por medio de un gas inerte, tal como gas Argón. En este caso la presión del gas se monitorea y se mantiene dentro de un rango que cumple los requerimientos de que sin contrapresión siempre hay un flujo suficiente de metal líquido hacia la cámara de vacío. La presión neta de metal líquido al comienzo del tubo de alimentación es igual a la diferencia de la presión del gas en el recipiente de suministro de metal líquido, la presión de vacío en la Cámara de vacío y la suma de la presión hidrostática del fundido y la contrapresión generada con la bomba electromagnética.

La reducción gradual del nivel de líquido en el recipiente de suministro de metal líquido mueve el balance de presión para reducir el flujo. Esto se corrige al ajustar la contrapresión de la bomba electromagnética, que se puede hacer más rápido y más preciso que con el ajuste de la presión de gas inerte.

Tales bombas electromagnéticas se conocen en la industria y tienen la ventaja de que la velocidad de flujo de la bomba es muy controlable y permite cambios instantáneos en la velocidad de flujo.

Si el recipiente para contener metal líquido también se utiliza como un horno de fundición entonces la presión hidrostática del metal líquido también cambiará cuando se cargue nuevo metal en el recipiente. Estas variaciones en la presión hidrostática se pueden ajustar fácilmente con la bomba electromagnética.

De acuerdo con un aspecto adicional de la invención se proporciona un circuito de circulación de metal líquido que comprende el recipiente para contener metal líquido, una bomba electromagnética de circulación conectada al recipiente para contener metal líquido y el tubo de alimentación, un tubo de sobreflujo conectado al tubo de alimentación entre la bomba electromagnética de circulación y la bomba electromagnética y que se extiende desde en la dirección hacia arriba con una abertura de sobreflujo del tubo de sobreflujo en el recipiente para contener metal líquido, en donde la columna de metal líquido en el tubo de sobreflujo proporciona una presión constante en el metal líquido en el tubo de alimentación. La columna de metal líquido en el tubo de sobreflujo forma una presión de carga sobre el metal líquido en el tubo de carga grande suficiente para generar un suministro de metal líquido al dispositivo evaporador que es mayor que la demanda de metal líquido en el dispositivo evaporador. La velocidad de flujo del suministro se regula con la bomba electromagnética. El circuito de circulación con dicha una presión de carga proporciona un circuito de presión sin variación o con menor variación en la presión ejercida sobre el suministro de metal líquido.

Siempre es necesario que la bomba electromagnética de circulación tenga la columna completa de metal líquido en el tubo de sobreflujo y suministre suficiente metal líquido desde recipiente regulador en el tubo de alimentación.

El recipiente regulador se tiene que volver a cargar cuando se alcanza determinado nivel mínimo. De acuerdo con lo anterior se prevé que el metal líquido se suministre desde un recipiente de suministro de metal líquido al recipiente para contener metal líquido y en donde el metal líquido en el recipiente de suministro de metal líquido está presurizado por medio de un gas inerte. La presión en el metal líquido en el recipiente de suministro debe ser tal que el recipiente regulador puede ser recargado con el nivel requerido suficientemente rápido para evitar cualquier interrupción del suministro al dispositivo evaporador. El recipiente para contener metal líquido se cargará hasta un nivel por debajo de la abertura de sobreflujo del tubo de sobreflujo. En estas variaciones de configuración la en la presión del metal líquido en el recipiente de suministro no tienen influencia sobre el suministro de metal líquido en razón a que la presión de carga realizada con la columna de metal líquido en el tubo de sobreflujo proporciona una presión constante o más o menos constante.

El metal líquido se suministra desde un recipiente de suministro al recipiente para contener metal líquido a través del tubo de suministro que conecta el recipiente de suministro directamente con el recipiente para contener metal líquido o conectar al tubo de alimentación.

En lugar de utilizar un recipiente de suministro presurizado también es posible recargar el recipiente para contener metal líquido al utilizar simplemente la gravedad y dejar que el metal líquido fluya desde un recipiente de suministro posicionado más alto hasta un recipiente posicionado más bajo para que contenga el metal líquido.

Todos los tubos que están en contacto directo con el metal líquido se hacen de un material o tienen un revestimiento de un material que puede soportar las temperaturas del metal líquido y la posible acción del metal líquido sobre el tubo o el revestimiento del tubo. Dichos materiales incluyen grafito, cerámica, tungsteno y algunos aceros inoxidable.

5 Con el fin de regular la velocidad de flujo del metal líquido se tiene que conocer la velocidad de flujo real. Para ese fin, de acuerdo con la invención, la velocidad de flujo de metal líquido en el tubo de alimentación se mide por medio de un fluxómetro. En la primera configuración se puede hacer esto en cualquier lado de la bomba de circulación, en la segunda configuración con el circuito de circulación esto se hace entre la bomba electromagnética y el dispositivo evaporador. Estas mediciones sucesivas de velocidad de flujo se cargan en la unidad de control, se comparan con la velocidad de flujo requerida y basado en dicha comparación se controla la bomba electromagnética. La velocidad de flujo requerida se puede establecer en una serie de formas. Por ejemplo con base en los parámetros de proceso de los procesos PVD comprenden el espesor requerido de la capa depositada, la velocidad de transporte del sustrato, la energía de calefacción utilizada en el dispositivo evaporador. Más en particular, en el caso de calefacción inductiva de la masa fundida, se puede establecer la velocidad de flujo requerida desde parámetros de potencia eléctrica de la bobina de inducción y/o la masa fundida, tal como la frecuencia de la corriente inducida en la masa fundida en el crisol, o en el fundido levitado si se utiliza un proceso de evaporación por levitación.

15 De acuerdo con la invención se determina la velocidad de flujo del metal líquido en el tubo de alimentación al estimar la velocidad de flujo del metal líquido en el tubo de carga con un medidor de flujo de inducción al medir el voltaje inducido en el metal líquido por medio de electrodos incorporados en la pared del tubo de alimentación, en donde la pared del tubo de alimentación en esa ubicación es eléctricamente conductor.

20 Un medidor de flujo de inducción normalmente utiliza electrodos de medidor de inducción que sobresalen de la pared de un tubo no conductor y están en contacto directo con el líquido conductor. Con electrodos se miden los cambios en el voltaje inducido que son dependientes de la densidad del flujo magnético de un campo magnético proporcionado por imanes permanentes generado por medio de bobinas electromagnéticas en el medidor de flujo de inducción, la distancia entre los electrodos y la velocidad de flujo del metal líquido.

25 La temperatura de algunos metales líquidos que se van a cargar en el dispositivo evaporador puede ser bastante alta, tal como Zn líquido o una aleación de Zn y Mg líquidos. Con las mayores temperaturas del Zn líquido en una aleación de Zn y Mg líquidos los electrodos se desgastarían excesivamente y necesitarían ser reemplazados después de un corto tiempo. Para superar ese problema en los electrodos se incorporan en la pared, junto con esta evitando el contacto directo con el metal líquido. El contacto eléctrico necesario con el metal líquido se realiza al proporcionar una porción de pared del tubo eléctricamente conductor en por lo menos la ubicación de los electrodos incorporados.

30 La porción de pared del tubo conductor eléctrico debe consistir de un material que sea capaz de soportar la temperatura del Zn líquido o una aleación líquida de Zn y Mg durante un tiempo prolongado. Se han producido buenos resultados con grafito como una porción de pared de tubo conductor eléctrico, que es capaz de soportar altas temperaturas y también tiene una resistividad suficientemente baja para permitir mediciones confiables de baja velocidad con electrodos incorporados.

40 Debido a que el tubo de alimentación está en contacto directo en su longitud completa con el metal líquido el tubo de alimentación es preferiblemente de grafito o tiene un revestimiento de grafito. También con esta configuración en donde el grafito del tubo de alimentación conecta eléctricamente los electrodos del medidor de flujo es el que hace que las mediciones sean confiables y tengan buena correspondencia con la velocidad de flujo del metal líquido. De acuerdo con un aspecto adicional la invención también proporciona un aparato para cargar metal líquido a un dispositivo evaporador en una cámara de vacío, el aparato comprende un recipiente para contener metal líquido, un tubo de alimentación desde el recipiente para contener metal líquido hasta el dispositivo evaporador, en donde el metal líquido se carga bajo presión de tal manera que la velocidad de flujo del metal líquido es mayor que la demanda en el dispositivo evaporador, una bomba electromagnética, medios de control para controlar la bomba electromagnética y en donde la velocidad de flujo del metal líquido se regula al controlar la bomba electromagnética para generar una contrapresión en el metal líquido en el tubo de alimentación.

50 Con el fin de cargar el metal líquido bajo presión al dispositivo evaporador se proporcionan medios de suministro para proporcionar gas inerte bajo presión al recipiente para contener metal líquido con el fin de presurizar el metal líquido en el recipiente para contener metal líquido.

55 La anterior configuración se completa con un medidor de flujo de inducción para determinar la velocidad de flujo del metal líquido en el tubo de alimentación. Esta configuración tiene la ventaja de tener un número de componentes muy limitado y al mismo tiempo proporciona fácilmente la precisión requerida en el control de velocidad de flujo en el suministro de metal líquido.

60 Adicionalmente se pueden proporcionar medios para conservar la presión ejercida sobre el metal líquido en el recipiente de suministro por medio de gas inerte tan constante como sea posible. Dichos medios incluirían medios de medición de presión de gas inerte y medios de control para regular el suministro de gas inerte.

65 En una realización adicional suministrada de acuerdo con la invención se proporciona un circuito de circulación de metal líquido en el tubo de alimentación que comprende el recipiente para contener metal líquido, una bomba electromagnética de circulación en el tubo de alimentación, un tubo de sobreflujo conectado al tubo de alimentación entre la bomba electromagnética de circulación y la bomba electromagnética, el tubo de sobreflujo se extiende en

dirección vertical con una abertura de sobreflujo del tubo de sobreflujo en el recipiente para contener metal líquido, en donde la columna de metal líquido en el tubo de sobreflujo proporciona una presión constante del metal líquido en el tubo de alimentación que es suficiente para proporcionar una velocidad de flujo del metal líquido que es mayor que la demanda en el dispositivo evaporador.

De acuerdo todavía con un aspecto adicional se proporciona una válvula de cierre en el tubo de alimentación entre la bomba electromagnética y la cámara de vacío. Esta válvula de cierre adicional se utiliza para cerrar completamente el suministro al dispositivo evaporador, por ejemplo cuando se llena el recipiente regulador por primera vez en cuando el ciclo del proceso de evaporación está próximo a finalizar.

Con el fin de ser capaces de controlar fácilmente el volumen de metal líquido en el recipiente para contener metal líquido se proporciona un sensor de nivel para medir el nivel de metal líquido en el recipiente para contener metal líquido. Este sensor de nivel puede ser un sensor que esté en contacto directo con el metal líquido en el recipiente que puede ser un sensor electrónico diseñado para tomar mediciones sin ningún contacto físico con el metal líquido. Los niveles medidos de metal líquido se cargan en la unidad de control.

#### Breve descripción de los dibujos

La invención se explicará adicionalmente mediante los ejemplos mostrados en los dibujos, en los que:

La figura 1 muestra un diseño esquemático del aparato para cargar metal líquido a un dispositivo evaporador en una cámara de vacío, el aparato comprende un recipiente para contener metal líquido, tubo de alimentación, bomba electromagnética, medidor de flujo de inducción, y una unidad de control.

La figura 2 muestra un diseño esquemático del aparato para cargar metal líquido a un dispositivo evaporador en una cámara de vacío en donde el recipiente para contener metal líquido hace parte de un circuito de circulación con una bomba electromagnética de circulación y tubo de sobreflujo, y

La figura 3 muestra esquemáticamente una sección transversal a través del medidor de flujo de inducción y el tubo de alimentación.

#### Descripción detallada de los dibujos

El aparato mostrado esquemáticamente en la figura 1 tiene un recipiente para contener metal líquido desde el cual a través del tubo 2 de alimentación se carga metal líquido a un dispositivo 3 evaporador en una cámara 4 de vacío. En este ejemplo el dispositivo evaporador es un crisol 5 con una bobina 6 de inducción de agua refrigerada para calentar y evaporar adicionalmente el metal líquido en el crisol.

En lugar de un evaporador con un crisol también es posible utilizar un evaporador en donde el metal líquido suministrado se mantiene en levitación (EML-PVD) aunque se evapora, o para utilizar una configuración de deposición de vapor de chorro (JET-PVD).

El recipiente 1 para contener metal líquido se proporciona con dispositivos 7 de calefacción para calentar el metal en el recipiente a la temperatura requerida y mantenerla a esa temperatura. El recipiente 1 para contener metal líquido también se puede utilizar como una combinación de horno de fundición y recipiente para contener metal líquido. Se proporciona un sensor 8 de flotación para supervisar el nivel de metal líquido en el recipiente 1 para contener metal líquido. El sensor 8 de flotación tiene medios 9 de señal que proporcionan una señal que corresponde al nivel de metal líquido en el recipiente para contener metal líquido a una unidad 10 de control.

Se proporciona una línea 11 de suministro para un gas inerte, tal como argón, con una válvula 12 de cierre para cargar el gas bajo presión al recipiente 1 para contener metal líquido para presurizar el metal líquido en el recipiente. Se proporcionan sensores de presión de gas (no mostrados) para supervisar la presión de gas en el recipiente 1 para contener metal líquido. La presión ejercida por el gas inerte en el metal líquido se hace mayor que lo necesario para la velocidad de flujo requerida de metal líquido al dispositivo 3 evaporador.

En el tubo 2 de alimentación se proporciona una bomba 13 electromagnética, un medidor 14 de flujo de inducción y una válvula 15 de cierre, cada una se conecta a la unidad 10 de control.

En operación el metal líquido presurizado fluye desde el recipiente 1 para contener metal líquido a través del tubo 2 de alimentación al dispositivo 3 evaporador. La velocidad de flujo se mide frecuentemente o continuamente y se carga en la unidad 10 de control en donde se compara con la velocidad de flujo requerida. Si es necesario la velocidad de flujo se regula al controlar la bomba 13 electromagnética. En operación la presión de impulso,  $\Delta P$ , del sistema de carga se determina mediante el balance de todas las presiones en el punto "O":

$$\Delta P = P_{Ar} - (P_{13} + \rho \cdot g \cdot H_0 + P_{Vacio}),$$

en donde  $P_{Ar}$  es la presión de argón en el recipiente de metal líquido,  $P_{13}$  es la presión desarrollada por la bomba 3 electromagnética,  $p \cdot g \cdot H_0$  (la masa específica ( $p$ ) del metal líquido \* aceleración de gravedad ( $g$ ) \* la diferencia de altura ( $H_0$ )) es la presión hidrostática generada por el metal líquido desde el crisol abajo del nivel de líquido en el recipiente de metal líquido y  $P_{vacío}$  es la presión por encima del zinc fundido en la cámara de vacío.

En razón a que la presión  $P_{Ar}$  en el recipiente para contener metal líquido se toma de tal manera que la velocidad de flujo como resultado de dicha presión siempre sea mayor que la velocidad de flujo requerida de la bomba 13 electromagnética se opera para generar una contrapresión en el tubo 2 de alimentación para llegar a la velocidad de flujo requerida.

Al utilizar la bomba 13 electromagnética en contrapresión es posible un ajuste muy rápido y preciso de la velocidad de flujo, que es mucho más precisa y más rápida que ajustar la velocidad de flujo al controlar la presión del gas inerte en el recipiente 1 de suministro.

En la figura 2 se muestra una realización en donde el recipiente 1 para contener metal líquido hace parte de un circuito de circulación que proporciona una presión de carga constante en el punto "O" en el tubo 2 de alimentación. Éste circuito de circulación comprende el recipiente 1 para contener metal líquido, una bomba 17 electromagnética de circulación, un tubo 18 de sobreflujo conectado al tubo 2 de alimentación entre la bomba 17 electromagnética de circulación y la bomba 13 electromagnética, el tubo 18 de sobreflujo que tiene su abertura 19 de sobreflujo dentro del recipiente 1 para contener metal líquido, y en donde el lado de bomba 17 electromagnética de circulación opuesta del lado conectada al tubo 18 de sobreflujo se conecta por medio de un tubo 20 al recipiente 1 para contener metal líquido.

La parte del tubo 18 de sobreflujo que está dentro del recipiente 1 para contener metal líquido también puede ser un compartimiento separado dentro del recipiente al cual se conecta al tubo en el exterior del recipiente 1.

El tubo de sobreflujo se proporciona con un sensor 21 de sobreflujo en la abertura 19 de sobreflujo. El sensor 21 de sobreflujo, que puede ser un sensor de contacto, se conecta a la unidad 10 de control. El recipiente 1 para contener metal líquido se proporciona con un sensor 22 de flotación para supervisar el nivel de metal líquido en el recipiente uno. El sensor 22 de flotación tiene medios 23 de señal que proporcionan una señal que corresponde al nivel de metal líquido en el recipiente 1 para contener metal líquido a la unidad 10 de control.

El recipiente 1 para contener metal líquido está provisto adicionalmente con dispositivos 7 de calefacción para mantener el metal líquido en el recipiente regulador a la temperatura requerida.

En este ejemplo se conecta un recipiente 16 de suministro de metal líquido al recipiente 1 para contener metal líquido por medio de un tubo 24 de conexión, que en el ejemplo dado se conecta al tubo 20 con el cual se conecta la bomba 17 electromagnética de circulación al recipiente 1 para contener metal líquido. En este tubo 24 de conexión se proporciona una válvula 25 de cierre por medio de la cual se puede separar el recipiente 16 de suministro de metal líquido de la otra parte del circuito de suministro. Esto tiene la ventaja de permitir la conexión de un recipiente de suministro fresco con metal líquido sin la necesidad de detener el proceso de evaporación.

En lugar de conectar el tubo 24 corriente abajo de la bomba 17 electromagnética de circulación Este también se puede conectar al tubo de alimentación entre la bomba 17 electromagnética de circulación y la bomba electromagnética 13. Otra opción es conectar el recipiente 16 de suministro de metal líquido al recipiente 1 para contener metal líquido a través de un tubo de conexión directa, es decir sin conexión al tubo 20 o tubo 2 de alimentación.

Se proporcionan medios de calefacción adicionales (no mostrados) para calentar el tubo 2 de alimentación, el tubo 18 de sobreflujo, el tubo 20 y el tubo de conexión 24. El tubo 2 de alimentación, el tubo 18 de sobreflujo, el tubo 20 y el tubo 24 de conexión o el revestimiento de estos tubos debe ser capaz de soportar la posible acción del metal líquido sobre el material del tubo así como la temperatura del metal líquido. Con Zn o Zn/10% Mg ya que las temperaturas del metal líquido están respectivamente por encima de 420° C y por encima de 600° C. Más aún, el Zn líquido o Zn/10% Mg actúan agresivamente en la mayoría de metales o aleaciones de metales, resulta en que sólo un número limitado de materiales pueden utilizar estos tubos o revestimientos para estos tubos, que incluye grafito, cerámica, tungsteno y algunos aceros inoxidables.

El sistema opera en la siguiente forma. Después de calentar el metal líquido en el recipiente 16 de suministro de metal líquido o, si el recipiente 16 también se utiliza como un horno de fundición, después de fundir y calentar el metal en el recipiente 16 de suministro de metal líquido, la presión del gas inerte se eleva a la presión requerida al abrir la válvula de cierre 12. Al abrir la válvula de cierre 25 se obliga al metal líquido a salir del recipiente 16 de suministro de metal líquido y, a través del tubo 24, se carga a través del tubo 20 al recipiente 1 para contener metal líquido hasta el nivel establecido que es supervisado por medio del sensor 22 de nivel. Después de esto la válvula 25 de cierre en conexión con el tubo 24 se cierra y la válvula 17 de circulación electromagnética se inicia resultando en que el tubo 18 de sobreflujo se llena y el metal líquido fluye a través de la abertura 19 de sobreflujo y regresa al recipiente 1 para contener metal líquido. Esto es supervisado por medio del sensor 21 de sobreflujo con el fin de tener una presión de carga constante en el punto "O" del tubo 18 de sobreflujo que permanecer completamente lleno. Con el metal líquido

## ES 2 566 607 T3

circulando en este circuito la carga de presión formada por la columna H1 de metal líquido será constante en altura a través del vaciado del recipiente 1 para contener metal líquido.

Después que el circuito de circulación para metal líquido se pone en operación se puede abrir la válvula 15 de cierre después de lo cual el metal líquido fluye a través del tubo 2 de alimentación dentro del crisol 5 del evaporador 3. La velocidad de flujo se mide luego por medio del medidor 14 de flujo de inducción y se ajusta a la velocidad de flujo y se estabiliza a la velocidad de flujo requerida por medio de la bomba 13 electromagnética. En razón a que la presión de carga formada por la columna H1 del metal líquido se genera una velocidad de flujo mayor que la velocidad de flujo de bomba 13 electromagnética funcionará continuamente en contrapresión.

El estado inicial del sistema de alimentación se determina mediante el balance de todas las presiones en el punto "O":

$$P17 + P13 + \rho * g * H1 = 0,$$

En donde P17 y P13 tienen las presiones respectivas desarrolladas por la bomba 17 electromagnética de circulación y la bomba 3 electromagnética,  $\rho * g * H1$  (la masa específica ( $\rho$ ) del metal líquido \* aceleración de gravedad ( $g$ ) \* la altura (H1)) es la presión de carga proporcionada por la columna de metal líquido en el tubo 18 de sobreflujo en el punto "O".

La separación del recipiente 16 de suministro de metal líquido del recipiente 1 para contener metal líquido y el sistema de carga de presión constante permiten recargar el recipiente de suministro de metal líquido con metal líquido, o con metal sólido si el recipiente suministro de metal líquido también se utiliza como horno de fundición, sin interrupción o perturbación del suministro de metal líquido al dispositivo 3 evaporador.

También es posible conectar un único circuito de presión constante a diversos recipientes de suministro de metal líquido o suministro combinado y recipientes de fundición, que se tienen que colocar fuera de operación periódicamente con el fin de limpiarlos de escombros e impurezas cuando se acumulan sin que se tenga que interrumpir el proceso de producción.

La bomba 17 electromagnética de circulación y la bomba 13 electromagnética se pueden intercambiar de tal manera que las bombas generan flujo en la misma dirección. Esto permite drenar todo el metal líquido del dispositivo 3 evaporador y el recipiente 1 para contener metal líquido de regreso al recipiente 16 suministro de metal líquido en un breve tiempo en caso de una situación de emergencia en donde se tiene que detener el proceso.

En ambas realizaciones de acuerdo con la figura 1 y con la figura 2 se pueden proporcionar medios de elevación para desplazar al recipiente para contener metal líquido o el recipiente suministro de metal líquido en una dirección hacia arriba y hacia abajo con respecto al tubo de alimentación o tubo de conexión, según sea el caso. Esto permite drenar completamente el tubo de conexión o alimentación cuando el sistema sale de operación de tal manera que el tubo no se bloquea con metal solidificado.

La figura 3 muestra una sección transversal a través del medidor 14 de flujo de inducción que se utiliza para determinar la velocidad de flujo en el tubo 2 de alimentación. En este ejemplo el medidor 14 de flujo comprende una estructura 26 magnética de forma rectangular de material ferromagnético con dos imanes 29, 30 permanentes en el interior de patas opuestas de la estructura 26 magnética. La estructura electromagnética se construye con una parte 27 con forma de U y una parte 28 separable que conecta los extremos externos de la parte 27 con forma de U. Debido a esta construcción será fácil posicionar o retirar el medidor de flujo.

Otras construcciones que permiten el reemplazo fácil de un medidor de flujo estarán con una porción fija del tubo al medidor de flujo que conecta en lados opuestos con el tubo de alimentación. Sin embargo, en un sistema de alimentación de metal líquido tal como una construcción con dos conexiones adicionales no se prefiere debido a las complejidades con el sistema de alimentación de alta temperatura.

Los imanes 29 y 30 permanentes, que pueden ser por ejemplo imanes permanentes de Nd-Fe-B o Sm-Co, forman polos opuestos en el circuito magnético que proporciona un campo eléctrico con líneas de campo magnético casi rectas dentro del tubo 2 de alimentación. En lugar de imanes permanentes también se puede utilizar un sistema con bobinas electromagnéticas para generar un campo magnético.

En la figura el tubo 2 de alimentación tiene respectivamente una parte 31, 32 interna y una externa. La parte 32 interna se hace de grafito, más particularmente de grafito amorfo. La alimentación de metal líquido depende de las temperaturas del metal líquido si o no el interior completo del tubo 2 de alimentación se debe hacer de grafito. Con Zn líquido o Zn - Mg líquido, con hasta 10% de Mg, las temperaturas de fundición respectivas serán de aproximadamente 420° y aproximadamente 600° C y en estos casos la parte 32 interna del tubo de alimentación se debe hacer de grafito con el fin de soportar las temperaturas de los mismos.

La parte 31 externa puede comprender un tubo contra el cual el grafito de la parte interna se aplique como un revestimiento, medios de aislamiento si son necesarios medios de calefacción para mantener el tubo de alimentación a una temperatura mínima determinada.

5 Se han proporcionado dos electrodos 33, 34 de los cuales por lo menos los extremos externos están en un plano en aproximadamente un ángulo recto con las líneas de campo magnético a través del tubo de alimentación. Los extremos externos se incorporan en el grafito de la parte 32 interna del tubo de alimentación con el fin de evitar contacto directo con el metal líquido que conduciría a un desgaste rápido de los electrodos, especialmente con las altas temperaturas del Zn líquido y el Zn -Mg. Preferiblemente estos electrodos se hacen de tungsteno.

10 En los medidores de flujo de inducción conocidos los electrodos están en contacto directo con un líquido conductor en un tubo de alimentación, en donde el tubo de alimentación es de un material no conductor. El voltaje inducido medido es dependiente de la densidad de flujo magnético, la distancia entre los extremos externos de los electrodos y la velocidad de flujo del líquido conductor.

15 Con el medidor de flujo de acuerdo con la invención los extremos externos de los electrodos no están en contacto directo con el líquido conductor debido a las razones expuestas anteriormente. El contacto necesario con el líquido conductor es a través de grafito de la parte 32 interna, que es posible debido a que el grafito amorfo tiene resistividad suficientemente baja para actuar como un conductor. Sin embargo, debido a la conductividad de grafito amorfo también habrá contacto entre los electrodos a través de la parte de grafito del tubo de alimentación. Un voltímetro unido a los electrodos el circuito de medición resultante comprenderá componentes de corriente paralelos a través del tubo de alimentación y entre el extremo externo de los electrodos a través del metal líquido. El último componente de corriente es de hecho a través del metal líquido y a través de una pequeña parte de grafito que corresponde a la distancia entre los extremos externos de los electrodos y la parte interna del tubo de alimentación con el metal líquido. Aunque los voltajes medidos son relativamente bajos, éstos se pueden medir confiablemente con los voltímetros actuales adecuados para medición en rangos de nV. Con los voltajes medidos y los cambios en los voltajes la velocidad de flujo y la posterior velocidad de flujo se pueden determinar con suficiente precisión para ser capaz de controlar la bomba 13 electromagnética y con éste el suministro al dispositivo evaporador con suficiente precisión.

20

25

Reivindicaciones

- 5 1. Un método para suministrar metal líquido de un recipiente para contener metal líquido a través del tubo de alimentación a un dispositivo evaporador en una cámara de vacío en donde el metal líquido se suministra bajo presión caracterizado porque el metal líquido se suministra bajo presión de tal manera que la velocidad de flujo del metal líquido suministrado sin regulación es mayor que la demanda de metal líquido en el dispositivo evaporador y en donde la velocidad de flujo se regula al generar una contrapresión en el metal líquido en el tubo de alimentación por medio de una bomba electromagnética dependiendo de la demanda de metal líquido en el dispositivo evaporador.
- 10 2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el metal líquido en el recipiente para contener metal líquido se presuriza por medio de un gas inerte.
- 15 3. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde se proporciona un circuito de circulación de metal líquido que comprende el recipiente para contener metal líquido, una bomba electromagnética de circulación conectada al recipiente para contener metal líquido y el tubo de alimentación, un tubo de sobreflujo conectado al tubo de alimentación entre la bomba electromagnética de circulación y la bomba electromagnética y que se extiende en dirección vertical con una abertura de sobreflujo del tubo de sobreflujo en el recipiente para contener metal líquido, en donde la columna de metal líquido en el tubo de sobreflujo proporciona una presión constante en el metal líquido en el tubo de alimentación.
- 20 4. Un método de acuerdo con una o más de las reivindicaciones 1 a 3, en donde se determina la velocidad de flujo de metal líquido en el tubo de alimentación y en donde se controla la bomba electromagnética sobre la base de la velocidad de flujo determinada y la demanda de metal líquido para el dispositivo evaporador.
- 25 5. Método de acuerdo con la reivindicación 4, en donde la velocidad de flujo de metal líquido en el tubo de alimentación se determina al establecer la velocidad de flujo del metal líquido en el tubo de alimentación con un medidor de flujo de inducción al medir el voltaje inducido en el metal líquido por medio de electrodos incorporados en la pared del tubo de alimentación en donde la pared del tubo de alimentación en esa ubicación es eléctricamente conductor.
- 30 6. Método de acuerdo con la reivindicación 4, en donde el metal líquido se suministra desde un recipiente de suministro de metal líquido al recipiente para contener metal líquido y en donde el metal líquido en el recipiente de suministro de metal líquido se presuriza por medio de un gas inerte.
- 35 7. Aparato para cargar metal líquido a un dispositivo evaporador en una cámara de vacío, el aparato comprende un recipiente para contener metal líquido, un tubo de alimentación del recipiente para contener metal líquido al dispositivo evaporador, una bomba electromagnética y medios de control para controlar la bomba electromagnética y medios para presurizar el metal líquido en el recipiente para contener metal líquido, caracterizado porque se proporciona un medidor de flujo de inducción para medir la velocidad de flujo del metal líquido en el tubo de alimentación.
- 40 8. Aparato de acuerdo con la reivindicación 7, en donde se proporcionan medios de suministro para proporcionar un gas inerte bajo presión al recipiente para contener metal líquido para presurizar el metal líquido en el recipiente para contener metal líquido.
- 45 9. Aparato de acuerdo con la reivindicación 7, en donde se proporciona un circuito de circulación de metal líquido en el tubo de alimentación que comprende el recipiente para contener metal líquido, una bomba electromagnética de circulación en el tubo de alimentación, un tubo de sobreflujo conectado al tubo de alimentación entre la bomba electromagnética de circulación y la bomba electromagnética, el tubo de sobreflujo se extiende en dirección vertical con una abertura de sobreflujo del tubo de sobreflujo en el recipiente para contener metal líquido, en donde la columna de metal líquido en el tubo de sobreflujo proporciona una presión constante en el metal líquido en el tubo de alimentación que es suficiente para proporcionar una velocidad de flujo en el metal líquido que es mayor que la demanda del dispositivo evaporador.
- 50 10. Aparato de acuerdo con una o más de las reivindicaciones 7 a 9, en donde los electrodos del medidor de flujo de inducción se incorporan en una pared eléctricamente conductoras del tubo de alimentación.
- 55 11. Aparato de acuerdo con una o más de las reivindicaciones 7 a 10, en donde la válvula de cierre se proporciona en el tubo de alimentación entre la bomba electromagnética y la cámara de vacío.
- 60 12. Aparato de acuerdo con una o más de las reivindicaciones 7 a 11, en donde se proporciona un sensor de nivel para medir el nivel de metal líquido en el recipiente para contener metal líquido.
- 65 13. Aparato de acuerdo con una o más de las reivindicaciones 7 a 12 y, en donde se conecta un recipiente de suministro de metal líquido al recipiente para contener metal líquido.
14. Aparato de acuerdo con la reivindicación 13, en donde un tubo colector desde el recipiente de suministro de metal líquido se conecta al tubo de alimentación corriente arriba de la bomba electromagnética y en donde se proporciona una válvula de cierre en el tubo de conexión.

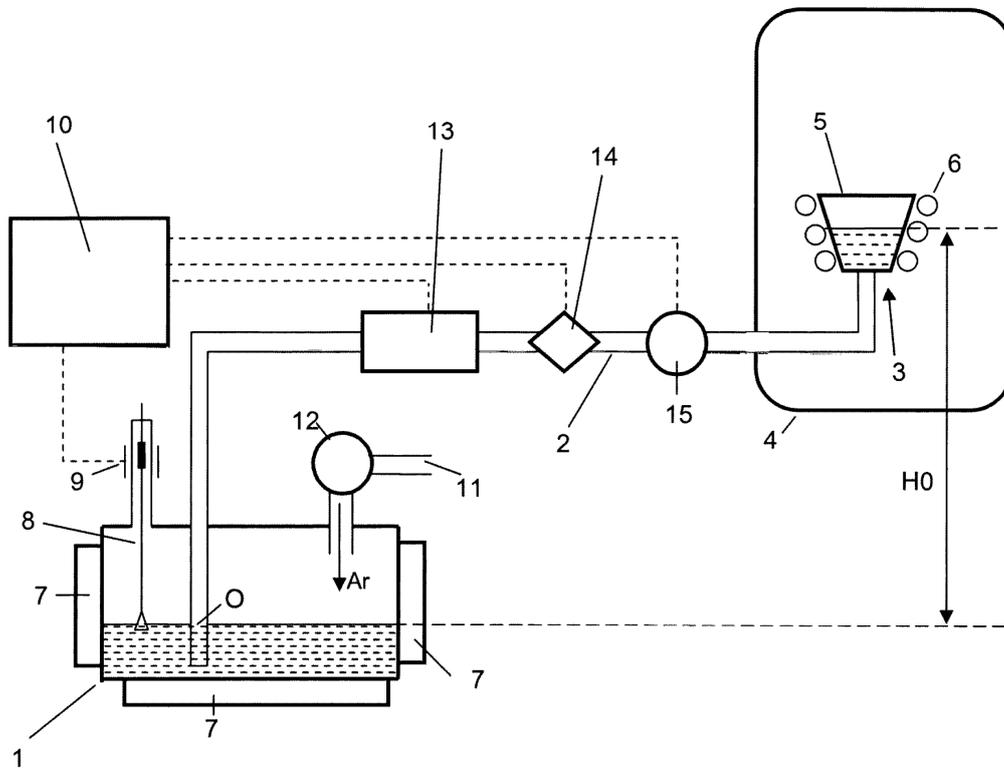


FIGURA 1

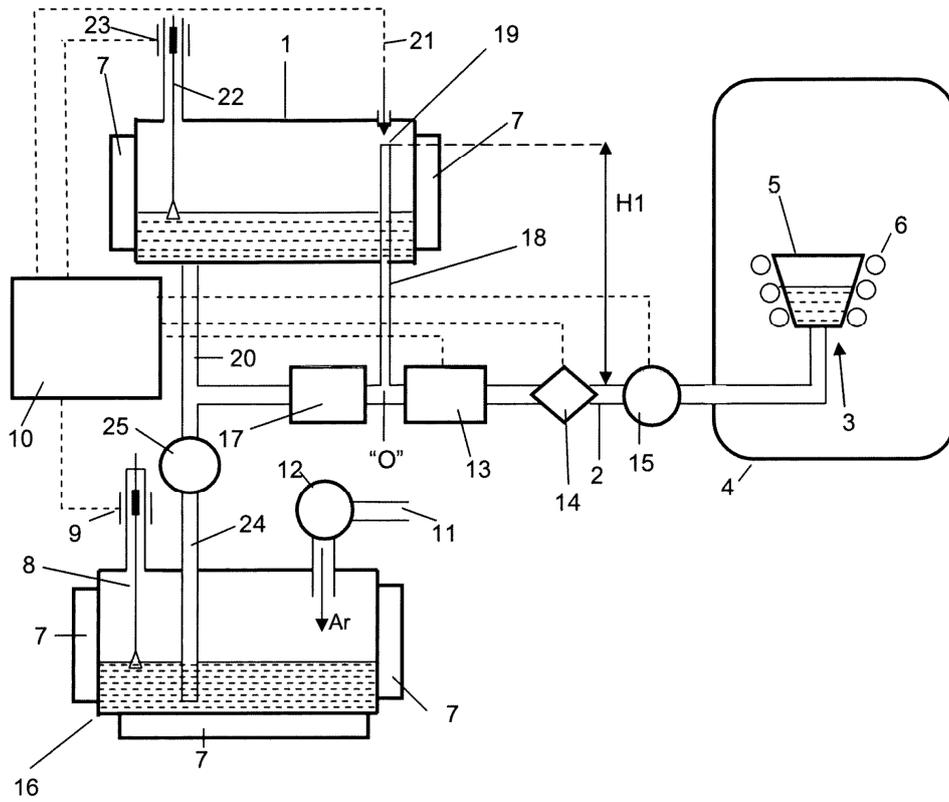


FIGURA 2

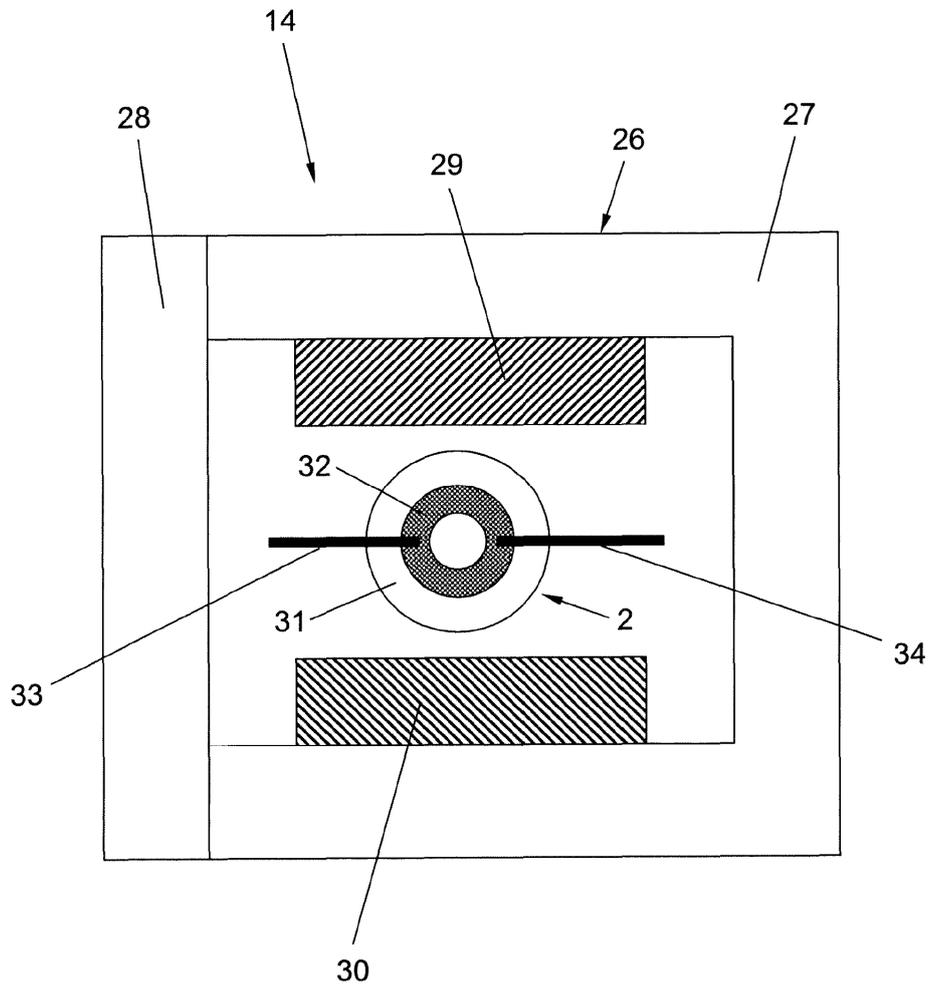


FIGURA 3