

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 712 907**

51 Int. Cl.:

G01N 33/20 (2006.01)

C22B 9/02 (2006.01)

B06B 3/00 (2006.01)

C22B 21/06 (2006.01)

G01N 29/032 (2006.01)

G01N 29/22 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.10.2015 PCT/FR2015/052680**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.04.2016 WO16055729**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.10.2015 E 15791690 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.12.2018 EP 3204764**

54 Título: **Proceso de inspección ultrasónica de un metal líquido**

30 Prioridad:

07.10.2014 FR 1402257

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

16.05.2019

73 Titular/es:

**CONSTELLIUM ISSOIRE (100.0%)
Rue Yves Lamourdedieu ZI des Listes
63500 Issoire, FR**

72 Inventor/es:

**ACHARD, JEAN-LOUIS y
LE BRUN, PIERRE**

74 Agente/Representante:

MIR PLAJA, Mireia

ES 2 712 907 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

Proceso de inspección ultrasónica de un metal líquido

- 5 La invención se refiere al ámbito de la inspección no destructiva y del análisis ultrasónico de metal líquido. Más precisamente, la invención es relativa a un proceso mejorado que utiliza por lo menos un sonotrodo de cerámica o de metal refractario, es decir inerte con respecto al metal líquido, lo que permite una transmisión optimizada de los ultrasonidos con objeto de inspección y de análisis.
- 10 En el ámbito de la colada de metales líquidos, es de relevante importancia inspeccionar de forma precisa la calidad inclusionaria. En efecto, de ella depende la calidad y el índice de rechazo de las chapas o piezas, sobre todo las chapas o piezas finas, en particular las que se obtienen durante la fabricación de los recipientes cerrados del tipo lata de bebida o aerosol. En caso de metales líquidos, esta medición es particularmente complicada debido al pequeño número de inclusiones presentes en el metal líquido, pero cuya nocividad es
- 15 alta. La calidad inclusionaria suele determinarse según el índice de inclusiones contenidas en un metal líquido y su tamaño.
- Esto radica principalmente en métodos de toma de muestras de metal líquido, en las que las inclusiones se concentran en un filtro antes de ser observadas y contadas por metalografía. Es el caso del método llamado
- 20 PoDFA (acrónimo anglosajón de Porous Disk Filtration of Aluminium) en el caso del aluminio líquido, pero este método es solo indicativo del tamaño y del número de inclusiones.
- En este mismo ámbito, también se conoce un método, llamado LiMCA (acrónimo anglosajón de Liquid Metal Cleanlines Analysis) que consiste principalmente en muestrear el metal líquido de forma continua a través de
- 25 un pequeño orificio y en medir la variación de resistencia del metal líquido cada vez que pase una inclusión. Pero este aparato, que funciona según el principio del contador Coulter, tiene inconvenientes de mayor importancia que son el límite de cantidad analizada (el 0,01% de metal colado aproximadamente) y de tamaño detectable (entre 15 y 150 µm aproximadamente).
- 30 Más recientemente, se desarrolló un aparato que utiliza la velocidad de filtración para proporcionar una determinación del nivel de limpieza inclusionaria. Es el caso del método Prefil® en particular. En estos métodos, las frecuencias de muestreos realizables en la práctica son bajas por lo cual la fracción volumétrica analizada es baja (orden de magnitud práctico del 0,01% de metal colado).
- 35 La necesidad de desarrollar un método de medición continua, especialmente cuando el metal circula en un canal, se remonta a los años 1960.
- Así fue que Reynolds se enfocó en la medición ultrasónica para evaluar la calidad inclusionaria del aluminio líquido, que tendría que permitir acceder a una fracción mucho más importante de metal líquido (varios por
- 40 cientos por lo menos).
- El equipo desarrollado en aquella época, conocido con el nombre de "Reynolds 4M", tenía una sensibilidad limitada y parece ser que sólo fue utilizado de manera cualitativa a través de un índice de calidad capaz de distinguir el metal limpio del metal muy sucio.
- 45 Ha sido objeto de la solicitud de patente US 4 287 755 de "Reynolds Metals Company" en 1979 y de la publicación de Mansfield, T.L., "Molten Aluminum Quality Measured with Reynolds 4M System".
- En los desarrollos más recientes relativos a los ultrasonidos, es de notar el aparato "MV20/20" de "Metalvision", disponible en el mercado y descrito en la publicación "An ultrasonic sensor for the continuous online monitoring
- 50 of the cleanlines of liquid aluminium", TMS2005. Proporciona, en tiempo real, una indicación sobre el tamaño y el número de inclusiones presentes en el metal líquido, no obstante, sin ningún método de calibración asociado. Este aparato se utiliza muy poco y en todo caso nunca a gran escala, sobre todo debido a su falta de fiabilidad. Se nota, en particular, que la guía de ondas, o sonotrodo, es de acero, reacciona con el metal, lo que provoca
- 55 una evolución de la interfase y por tanto de la calidad y del nivel de transmisión de las ondas.
- A finales de los años 1990, la solicitante también, "Pechiney Rhenalu", desarrolló la medición ultrasónica de las inclusiones y presentó en particular, en 1999, la solicitud FR2 796 155 relativa a un método de calibración del
- 60 tamaño de los defectos vistos por ultrasonidos en el metal líquido, llamada "Procédé et dispositif améliorés de comptage des inclusions dans un bain de métal liquide par ultrasons". Sin embargo, estos distintos estudios, a pesar de suministrar un método de calibración, no permitieron hacer fiable el método ultrasónico de detección/contado de las inclusiones presentes en el metal líquido, sin embargo, demostraron que permitiría analizar una fracción más grande de metal líquido. Esta fiabilidad restringida se debe, sobre todo, a la falta de estabilidad de la interfase guía de onda/metal líquido. En efecto, se sabe que el metal líquido ha de mojar las
- 65 guías de ondas para permitir la transmisión de energía hacia el metal líquido sin pérdida muy importante. Por este motivo, las guías de ondas utilizadas son de metal, especialmente de acero o titanio.

Sin embargo, esto no basta para obtener un mojado perfecto así que se desarrollaron métodos para mejorarlo. Esto, en el contexto del aluminio líquido, lo demuestra, en particular, la patente EP0035545B1, con prioridad de 1979, de "Reynolds Metal Company" que reivindica la deposición de una película de aluminio en fase vapor en un sonotrodo de titanio. Pero en realidad, incluso en dicha configuración, la calidad del mojado evoluciona durante la utilización debido a la reacción de la materia de la guía de ondas con el metal líquido y además el sonotrodo, con su deposición, no se puede reutilizar.

Los materiales refractarios no se utilizan en los metales líquidos precisamente porque no los mojan los correspondientes metales líquidos. Solamente un proceso de deposición química permitiría obtener el mojado, pero por un tiempo limitado, lo que no es fiable, ni cómodo, ni económico.

Así que hoy en día, no existe ningún método capaz de detectar inclusiones de manera fiable en una fracción importante de metal colado.

Uno de los objetivos de la presente invención consiste pues en paliar por lo menos uno de los susodichos inconvenientes. Con este propósito, la presente invención propone un proceso de inspección ultrasónica de un metal líquido que comprende las siguientes etapas:

- a) suministrar un sonotrodo 1 realizado en un material sustancialmente inerte con respecto al metal líquido, como una cerámica y preferentemente un nitruro de silicio o un oxinitruro de silicio, como el SIALON, o un metal sustancialmente inerte con respecto al correspondiente metal líquido,
- b) sumergir por lo menos parcialmente el sonotrodo 1 en un baño del correspondiente metal,
- c) aplicar al sonotrodo 1 ultrasonidos de potencia, especialmente ultrasonidos con una potencia superior a los 10 vatios, para obtener el mojado del correspondiente sonotrodo por el correspondiente metal,
- d) aplicar de forma continua al sonotrodo 1 ultrasonidos de medición, también llamados ultrasonidos de inspección, especialmente ultrasonidos cuya frecuencia está comprendida entre 1 y 25 MHz,
- e) aplicar de forma intermitente al sonotrodo 1 ultrasonidos de potencia, especialmente ultrasonidos con una potencia superior a los 10 vatios, para mantener el correspondiente mojado y garantizar la estabilidad de la señal en el tiempo.

Así, el mojado del sonotrodo por el metal líquido se mantiene de forma duradera, especialmente durante varios días, por simples aplicaciones de ultrasonidos de potencia al sonotrodo sumergido en el metal líquido. En la etapa b), el sonotrodo se sumerge en un baño de metal líquido.

En la etapa c), se aplican al sonotrodo ultrasonidos de potencia que permiten la obtención del mojado por el metal líquido. Gracias a este proceso, se hace posible obtener una transmisión optimizada de los ultrasonidos al metal líquido que sea duradera y estable en el tiempo.

Ventajosamente, la aplicación de ultrasonidos de potencia en la etapa e) se realiza de forma intermitente. En efecto, el mojado del sonotrodo resiste el tiempo, así que la aplicación de ultrasonidos de potencia para el mantenimiento del mojado puede ser esporádica.

Por su parte, la etapa d) comprende asimismo la aplicación de ultrasonidos de medición al sonotrodo, especialmente ultrasonidos cuya frecuencia está comprendida entre 1 y 25 MHz. Entonces, se hace posible utilizar el sonotrodo previamente mojado en la etapa c) para aplicaciones como la inspección no destructiva del metal líquido, mediante la aplicación de ultrasonidos de medición al sonotrodo durante un largo periodo de tiempo.

Así, la medición ultrasónica se efectúa de forma continua para poder analizar en línea la calidad inclusionaria del metal líquido, y sobre todo en un canal, antes de su tratamiento o antes de una colada en lingotera. En efecto, la invención permite la aplicación concomitante de ultrasonidos de medición para el tratamiento y de ultrasonidos de potencia intermitentes para la regeneración del mojado, puesto que éste tiende a deteriorarse en el tiempo, por simple efecto de mantenimiento prolongado o debido a la presencia, alrededor del sonotrodo, de gases, óxidos u otras impurezas.

Según un modo de realización ventajoso, el metal líquido es una aleación de aluminio líquido llamada a continuación aluminio líquido.

Esta aleación de aluminio puede contener magnesio en cantidad Y no nula e incluso muy baja, del orden de 20 ppm. Según otro modo de realización, la cantidad Y es superior o igual al 0,05%, preferentemente superior al 0,5%, y más preferentemente superior o igual al 0,7% en peso.

Sin embargo, el metal líquido también puede ser sodio, zinc, u otro metal, y el sonotrodo puede ser de acero o titanio o de cualquier otro metal sustancialmente inerte, es decir que no se disuelva significativamente en el metal líquido, o de cerámica y en particular un nitruro de silicio o un oxinitruro de silicio, como el SIALON.

- 5 Ventajosamente, antes de la etapa d), el proceso comprende una etapa que comprende la disposición, en el metal líquido, de un reflector de calibración, preferentemente inerte con respecto al correspondiente metal, y la etapa d) comprende una etapa de reflexión, con la ayuda del reflector, de los ultrasonidos de medición transmitidos por el sonotrodo, con el fin de generar una señal ultrasónica, el proceso comprende una etapa de activación de la aplicación de los ultrasonidos de potencia según la etapa d) cuando la señal ultrasónica generada presenta una intensidad inferior o igual a un valor umbral de intensidad predeterminado.
- 10 Según un modo preferente, el metal líquido es aluminio líquido.
- Según otro modo de realización, el metal líquido es sodio, zinc, u otro metal, y el sonotrodo es de acero o titanio o de cualquier otro metal inerte, es decir que no se disuelva significativamente en el metal líquido, o de cerámica y en particular un nitruro de silicio o un oxinitruro de silicio, como el SIALON.
- 15 Así, cuando el mojado del sonotrodo disminuye con el tiempo y que los ultrasonidos se propagan en el baño con una intensidad reducida, la intensidad de la señal ultrasónica reflejada por el reflector disminuye, automáticamente se inicia la aplicación de ultrasonidos de potencia para regenerar el mojado del sonotrodo por el metal líquido durante un largo período de tiempo y estabilizar así la transmisión de los ultrasonidos en el tiempo.
- 20 Según una posibilidad, la aplicación de los ultrasonidos de potencia de la etapa e) se inicia de forma periódica, especialmente con una periodicidad comprendida entre unos segundos y unas horas, típicamente entre 30 minutos y 6 horas. En efecto, esta configuración permite regenerar el mojado del sonotrodo para una utilización durante un largo período de tiempo con una señal estable en el tiempo.
- 25 Preferentemente, la aplicación de los ultrasonidos de potencia según la etapa e) se realiza durante un tiempo que va de unos segundos a unos minutos, típica y aproximadamente un minuto. En efecto, esta duración es suficiente para mantener el mojado en excelentes condiciones.
- 30 El proceso comprende, antes de la etapa e), una etapa de fijación al sonotrodo de un transductor emisor de ultrasonidos de medición según un montaje axial. Ventajosamente, este tipo de montaje permite obtener una emisión o una recepción direccional de las ondas acústicas.
- 35 Del mismo modo, el proceso comprende ventajosamente, antes de las etapas c) y e), una etapa de montaje axial de un transductor emisor de ultrasonidos de potencia en el correspondiente sonotrodo, además del transductor emisor de ultrasonidos de medición o inspección. Así, los transductores de medición y de potencia se fijan al mismo sonotrodo según un montaje axial.
- 40 Según una posibilidad, la fijación se obtiene por pegado del transductor de medición al sonotrodo, eventualmente con una brida. Según otra posibilidad, la fijación se obtiene por enroscamiento del transductor a la brida cilíndrica unida solidariamente al sonotrodo. Esta configuración permite garantizar un acoplamiento mecánico duradero entre los transductores y el sonotrodo para mediciones de calidad del aluminio líquido, como la detección de inclusiones, la velocimetría Doppler con ultrasonidos, la hidrofónica en el metal líquido.
- 45 Según otra posibilidad, la brida se ensambla con el sonotrodo por "soldadura", en este último caso, el sonotrodo se sumerge parcialmente antes, en un baño de aluminio líquido que comprende por lo menos un 0,05% en peso de magnesio, se somete a ultrasonidos de potencia hasta la obtención del mojado del sonotrodo por el aluminio líquido y, a continuación, el aluminio líquido se enfría y se solidifica con formación de una unión solidaria entre el sonotrodo y el aluminio que se mecaniza a continuación en forma de brida.
- 50 La brida así formada presenta una energía de unión al sonotrodo cuyas propiedades son similares a las que se obtienen durante una soldadura entre dos metales. En efecto, una sección pulida de la interfase obtenida con este proceso entre el sonotrodo unido al metal, observada al microscopio electrónico de barrido (MEB) presenta una fijación con una unión perfecta, sin ninguna descohesión, y una continuidad entre los dos materiales apta para permitir un acoplamiento mecánico óptimo entre el metal y el sonotrodo. Así, la unión solidaria entre el sonotrodo y la brida presenta una fuerza de unión por lo menos sensiblemente igual a la de una soldadura entre ambos materiales, es decir que es imposible despegar la brida del sonotrodo sin arranque de materia.
- 55
- 60 Según una posibilidad de realización, el metal líquido está en movimiento.
- Ventajosamente, la etapa d) comprende la medición por velocimetría Doppler con ultrasonidos del metal líquido.
- Según otra posibilidad, la etapa d) comprende la detección y la medición de inclusiones en el metal líquido.
- 65 Esta detección puede tener lugar en línea o en puesto fijo.

Según un modo de realización, el metal líquido es aluminio líquido.

Según otro modo, el correspondiente metal líquido es sodio o zinc, y el sonotrodo es de acero u otro metal no mojado por el sodio o el zinc respectivamente, o de Sialon.

5

Otros aspectos, objetivos y ventajas de la presente invención destacarán mejor de la lectura de la descripción siguiente de tres modos de realización de ésta, dada a modo de ejemplo no limitativo y en base a los dibujos adjuntos. Con objeto a mejorar la legibilidad de las figuras, todos los elementos representados no se han reproducido necesariamente a escala. Para mayor simplificación en la continuación de la descripción, elementos idénticos, similares o equivalentes de las distintas formas de realización llevan las mismas referencias numéricas.

10

Las figuras 1 a 3 ilustran esquemáticamente la fabricación de un equipo que comprende un sonotrodo para la realización de un modo de realización del proceso según la invención.

15

La figura 4 ilustra un primer modo de realización de la invención.

Las figuras 5 y 6 ilustran un segundo modo de realización de la invención.

20

La figura 7 ilustra un tercer modo de realización de la invención.

Como se ilustra en las figuras 1 a 3, un sonotrodo 1 de Si_3N_4 se moja en un baño de aleación de aluminio líquido con vistas a ser utilizado con un mojado mantenido.

25

La figura 1 representa la inserción de una primera área de extremo 1a del sonotrodo 1 cilíndrico, este último presentando una longitud de 400 mm y un diámetro de 30 mm, en un crisol 2 que contiene 3 kg de aluminio líquido, en este caso de tipo Al5%Mg incluyendo el 5% aproximadamente de magnesio en peso.

30

Un transductor emisor de ultrasonidos de potencia 3 ensamblado con el sonotrodo 1 según un modo lateral transmite ultrasonidos de potencia, con una frecuencia de 19,8 kHz y una potencia de aproximadamente 150 W, al sonotrodo 1 durante 5 minutos.

35

Cuando el sonotrodo 1 se saca del baño en esta etapa del proceso, éste presenta un mojado perfecto por el aluminio líquido, identificable a simple vista gracias a su color gris claro brillante, característico del aluminio, y sobre todo no separable de la superficie cerámica con una herramienta, sin arranque de materia.

Claro está que otras condiciones de mojado pueden ser utilizadas, especialmente con una cantidad de magnesio más o menos importante y preferentemente con una cantidad mínima del 0,05% en peso.

40

Los ultrasonidos de potencia se adaptan a la cantidad de magnesio utilizada. Sobre todo, se aplican durante más o menos tiempo para obtener la cavitación en el aluminio líquido que genera el mojado del sonotrodo 1.

45

Según una posibilidad no ilustrada, la aplicación de ultrasonidos se efectúa con la ayuda de un transductor de ultrasonidos de potencia 3 fijado al sonotrodo 1 según un modo axial, por apriete o por pegado o por enroscamiento o cualquier otra posibilidad, siempre y cuando la fijación resiste durante toda la operación típicamente inferior a 15 min.

50

En la etapa siguiente, el aluminio líquido se enfría alrededor del sonotrodo 1 mojado (en este caso el sonotrodo 1 no se ha sacado del baño para verificar el mojado). El aluminio se solidifica y conduce a la formación de una unión solidaria alrededor del sonotrodo 1. Entonces, el aluminio solidificado se mecaniza en forma de brida 4 cilíndrica alrededor del sonotrodo 1.

55

Como se representa en la figura 3, un transductor emisor de ultrasonidos de potencia 3 y un transductor emisor de ultrasonidos de medición 5 están enroscados a la brida 4 de aluminio según un montaje axial.

La segunda área de extremo 1b del sonotrodo 1, opuesta a la primera área de extremo 1a fijada a la brida 4, entonces se sumerge en una aleación de aluminio y se aplican ultrasonidos de potencia para obtener el mojado de esta segunda área de extremo 1b (etapa c).

60

Una vez el sonotrodo mojado por el aluminio líquido, se aplican ultrasonidos de medición por medio del transductor emisor de ultrasonidos de medición 5. Estos ultrasonidos aplicados con una frecuencia de 5 MHz permiten analizar sobre todo la calidad inclusionaria (cuantificación y tamaños de las inclusiones) en la aleación de aluminio líquido, de forma continua, especialmente durante varias horas (etapa d).

65

Se aplican ultrasonidos con una potencia superior a los 10 W por medio de la brida 4 de aluminio (etapa e). Esto garantiza la regeneración del mojado en la aleación de aluminio líquido. Una hipótesis que se puede

formular radica en que, a lo largo de la utilización del sonotrodo en modo inspección o medición, se forma a la superficie una película de óxido que altera el mojado. Se supone que la nueva aplicación de ultrasonidos permite fragmentar esta película de óxido y regenerar el contacto aluminio líquido / aluminio de mojado del sonotrodo, una vez el sonotrodo 1 sumergido en la aleación. Tampoco debe excluirse la hipótesis de la acumulación de gases alrededor del sonotrodo.

Se emiten así ultrasonidos de potencia con una frecuencia de 20 kHz aproximadamente, de forma periódica, en particular cada 3 horas durante un tiempo de aproximadamente 1 minuto, para mantener el mojado del sonotrodo 1.

En efecto, parece que la aplicación periódica de ultrasonidos de potencia permite "limpiar" la interfase sonotrodo 1 – aluminio líquido de cualquier inclusión o burbuja de gas que se hubiera depositado durante la utilización del sonotrodo en el aluminio líquido.

El procedimiento es análogo cuando el metal líquido es sodio o zinc, y que el sonotrodo es de acero u otro metal no mojado por Zn o Na respectivamente, o de cerámica, en particular de Sialon.

Según otra posibilidad no ilustrada, los ultrasonidos se emiten de forma intermitente, de acuerdo con la intensidad de la señal devuelta, cuando se utiliza un reflector para calibración de ultrasonidos de medición en el baño que contiene la aleación.

Por lo cual es posible utilizar el sonotrodo 1 para distintas aplicaciones.

Las mediciones de la calidad inclusionaria pueden realizarse, en particular, de forma continua durante por lo menos una colada, y en una gran fracción de volumen, gracias sobre todo a la excelente transmisión de los ultrasonidos en el metal líquido.

Las figuras 5 y 6 ilustran un modo de realización del proceso aplicado, en particular, a la medición de la calidad inclusionaria de una aleación de aluminio líquido, pero aplicable a cualquier metal líquido y sonotrodo inerte con respecto a este último. Dos sonotrodos 1 de Si₃N₄ (longitud 400 mm, diámetro 30 mm), mojados mediante aplicación previa de ultrasonidos de potencia, están parcialmente sumergidos aquí en un crisol 20 que comprende 25 kg de aleación de aluminio líquido. El transductor de ultrasonidos de potencia 3 está fijado a la brida 4 cilíndrica según un montaje axial en cada uno de ellos. Un transductor emisor de ultrasonidos de medición 5 está colocado en la brida 4, contra la columna de un sonotrodo 1 de Si₃N₄.

El sonotrodo 1, al que se fija el transductor emisor de ultrasonidos de medición 5, se utiliza para la emisión de ultrasonidos de medición mientras que el otro sonotrodo 1 se utiliza en modo recepción. El montaje en tándem de ambos sonotrodos 1 permite obtener, al modificar el ángulo y la distancia entre los sonotrodos 1, una focalización geométrica del haz ultrasónico. Una pequeña distancia entre los sonotrodos 1 y un ángulo α pequeño permiten aumentar el volumen de aleación de aluminio inspeccionado, pero el límite de detección aumenta en términos de tamaño de inclusión de modo que, de hecho, la detección presenta una sensibilidad menos importante (figura 5). A la inversa, una gran distancia entre los sonotrodos 1 y un ángulo α importante permiten disminuir el volumen inspeccionado y el límite de detección baja (figura 6). En este último caso, la sensibilidad de detección es más importante.

Después de la introducción de los sonotrodos 1 en la aleación de aluminio líquido, con una distancia de 300 mm y un ángulo α de 28°, la señal ultrasónica de medición no está significativamente presente. La aleación de aluminio líquido A no moja los sonotrodos 1. La aplicación de ultrasonidos de potencia (19,8 kHz, 150 W, 5 segundos) en el sonotrodo 1 que funciona en modo emisión y a continuación la aplicación de ultrasonidos de potencia en el sonotrodo 1 que funciona en modo recepción permiten establecer el mojado: entonces se produce una transmisión de la señal ultrasónica de medición (5 MHz). En este caso, el nivel de ruido detectado aumenta y aparecen picos que corresponden a partículas unitarias (inclusiones). La aplicación regular de ultrasonidos de potencia permite mantener el mojado y una continuidad en la detección y la cuantificación de las inclusiones, conocida también con el nombre de medición de la limpieza inclusionaria, en un baño de aleación de aluminio líquido en línea o en puesto fijo.

Según otro modo de ejecución del proceso ilustrado en la figura 7, el sonotrodo 1 se utiliza con objeto de velocimetría ultrasónica por efecto Doppler de un baño de aleación de aluminio líquido en movimiento, lo que, hasta ahora, se limitaba de manera fiable a los metales de bajo punto de fusión.

En este modo de realización, un transductor de ultrasonidos de potencia 3 y un transductor emisor de ultrasonidos de medición 5 están fijados según un montaje axial a un sonotrodo 1 de SIALON y se aplican ultrasonidos de potencia (20 kHz, 120 W, 8 s) para establecer el mojado.

Se aplican ultrasonidos de medición, con las mismas características que más arriba, de forma continua y la evolución de la frecuencia de la señal ultrasónica se mide gracias al transductor 3 que funciona también en

recepción. Paralelamente, se aplican los ultrasonidos de potencia cada cinco horas para mantener el mojado del sonotrodo 1 (etapa e). La evolución de la frecuencia reflejada por las partículas en suspensión, con respecto a la frecuencia emitida, está relacionada con el desplazamiento de las partículas arrastradas por el fluido.

5 Así, la presente invención propone un proceso de utilización de un sonotrodo 1 mojado por aluminio líquido, aplicable a un método de medición que comprende la utilización, de forma continua, de un aparato de medición de las inclusiones en una aleación de aluminio líquido, que ofrece la posibilidad de pasar de un modo medición (ultrasonidos de medición) a un modo regeneración del mojado (ultrasonidos de potencia) sin tener que intervenir en el aparato que permanece sumergido y es autónomo.

10 Además, los sonotrodos 1 no necesitan ningún tratamiento de superficie para modificar químicamente la superficie del material refractario constituyente del sonotrodo 1.

15 Por lo cual, es posible utilizar este proceso para una inspección no destructiva de forma continua de la aleación de aluminio líquido y para el análisis, sobre todo de la calidad inclusionaria del aluminio, gracias a la regeneración del mojado.

20 Ventajosamente, en una realización preferente, el equipo de medición utilizado para el proceso comprende un montaje en el que el sonotrodo 1 y los transductores ultrasónicos 3, 5 (medición y potencia) constituyen una sola entidad.

Del mismo modo, el proceso puede utilizarse cuando el correspondiente metal líquido es sodio o zinc y que el sonotrodo es de acero u otro metal no mojado por el sodio o el zinc respectivamente, o de SIALON.

25 Claro está que la invención no se limita al modo de realización que se ha descrito anteriormente a modo de ejemplo, sino que comprende todos los equivalentes técnicos y las variantes de los medios descritos, así como sus combinaciones.

REIVINDICACIONES

1. Proceso de inspección ultrasónica de un metal líquido que comprende las siguientes etapas:
 - 5 a) suministrar un sonotrodo (1) realizado en un material sustancialmente inerte con respecto al metal líquido, como una cerámica y preferentemente un nitruro de silicio o un oxinitruro de silicio, como el SIALON, o un metal sustancialmente inerte con respecto al correspondiente metal líquido,
 - b) sumergir por lo menos parcialmente el sonotrodo (1) en un baño del correspondiente metal,
 - 10 c) aplicar al sonotrodo (1) ultrasonidos de potencia, especialmente ultrasonidos con una potencia superior a los 10 vatios, para obtener el mojado del correspondiente sonotrodo por el correspondiente metal,
 - 15 d) aplicar de forma continua al sonotrodo 1 ultrasonidos de medición, también llamados ultrasonidos de inspección, especialmente ultrasonidos cuya frecuencia está comprendida entre 1 y 25 MHz,
 - 20 e) aplicar de forma intermitente al sonotrodo 1 ultrasonidos de potencia, especialmente ultrasonidos con una potencia superior a los 10 vatios, para mantener el correspondiente mojado y garantizar la estabilidad de la señal en el tiempo.
2. Proceso según la reivindicación 1, en el que el metal líquido es una aleación de aluminio líquido.
3. Proceso según la reivindicación 2, en el que el metal líquido, por lo menos en la etapa c), es una aleación de aluminio líquido que contiene magnesio en cantidad Y, la cantidad Y de magnesio siendo diferente de cero.
- 25 4. Proceso según la reivindicación 3, en el que la cantidad Y es superior o igual al 0,05%, preferentemente superior al 0,5% y más preferentemente superior o igual al 0,7% en peso.
- 30 5. Proceso según la reivindicación 1, en el que el metal líquido es sodio o zinc, y el sonotrodo es de acero u otro metal no mojado por el sodio o el zinc respectivamente, o de cerámica, en particular de Sialon.
6. Proceso según una de las reivindicaciones 1 a 5 que comprende, por lo menos a partir de la etapa d), la colocación en el correspondiente metal líquido de un reflector para calibración que permite la reflexión de los ultrasonidos de medición transmitidos por el sonotrodo (1), con el fin de generar una señal ultrasónica, y una etapa de activación de la aplicación de los ultrasonidos de potencia según la etapa e) cuando la señal ultrasónica generada presenta una intensidad inferior o igual a un valor umbral de intensidad predeterminado.
- 35 7. Proceso según la reivindicación 6 en el que el correspondiente metal líquido es una aleación de aluminio.
8. Proceso según la reivindicación 6, en el que el metal líquido es sodio o zinc, y el sonotrodo es de acero u otro metal no mojado por el sodio o el zinc respectivamente, o de SIALON.
- 45 9. Proceso según una de las reivindicaciones 1 a 8, en el que la aplicación de los ultrasonidos de potencia de la etapa d) se inicia de forma periódica, especialmente con una periodicidad comprendida entre unos segundos y unas horas.
10. Proceso según una de las reivindicaciones 1 a 9, en el que la aplicación de los ultrasonidos de potencia de la etapa d) se realiza durante un tiempo de unos segundos a unos minutos.
- 50 11. Proceso según una de las reivindicaciones 1 a 10, en el que el proceso comprende, antes de la etapa c), una etapa de fijación de un transductor emisor de ultrasonidos de potencia (3) al sonotrodo (1) según un montaje axial.
- 55 12. Proceso según la reivindicación 11, en el que el proceso comprende, antes de la etapa d), una etapa de montaje axial de un transductor emisor de ultrasonidos de medición (5) en el correspondiente sonotrodo (1) además del transductor emisor de ultrasonidos de potencia (3).
- 60 13. Proceso según la reivindicación 12, en el que por lo menos uno de los dos transductores se monta en una brida, fijada a su vez al sonotrodo por pegado, zunchado, enroscamiento o soldadura, y en este último caso, el sonotrodo se sumerge parcialmente antes, en un baño de aluminio líquido que comprende por lo menos un 0,05% en peso de magnesio, se somete a ultrasonidos de potencia hasta la obtención del mojado del sonotrodo por el aluminio líquido y, a continuación, el aluminio líquido se

enfria y se solidifica con formación de una unión solidaria entre el sonotrodo y el aluminio que se mecaniza a continuación en forma de brida.

- 5
14. Proceso según una de las reivindicaciones 1 a 13, en el que la etapa d) comprende igualmente una detección y una medición de inclusiones en el correspondiente metal líquido y/o una medición por velocimetría Doppler con ultrasonidos para cuando el correspondiente metal líquido esté en movimiento.
 15. Proceso según una de las reivindicaciones 9 a 14 en el que el correspondiente metal líquido es una aleación de aluminio.

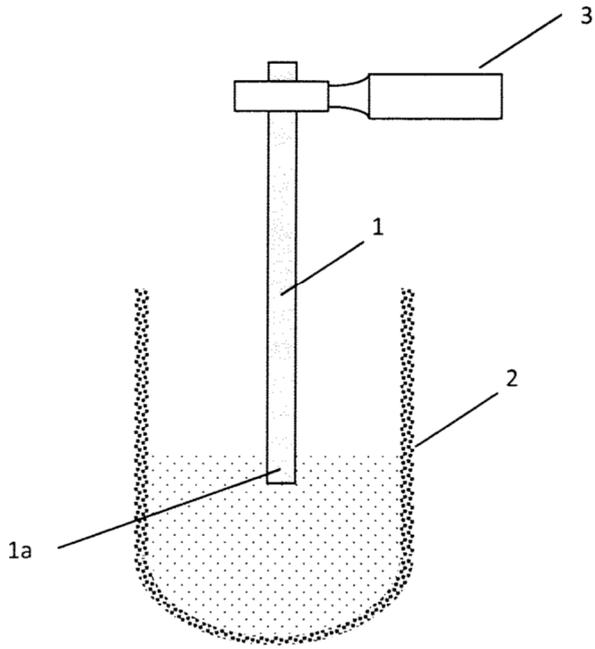


FIG.1

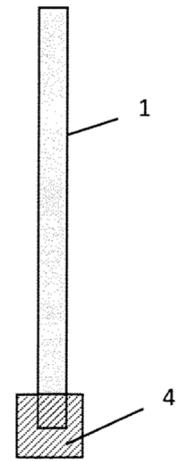


FIG. 2

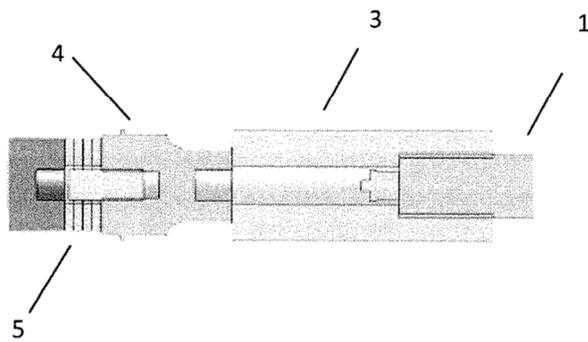
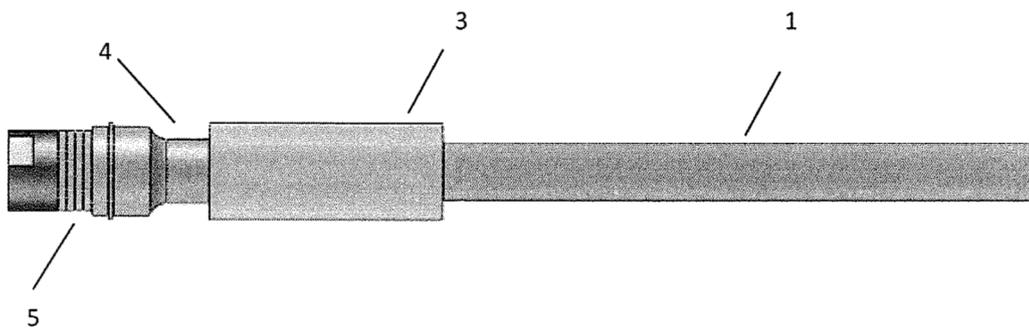


FIG. 3

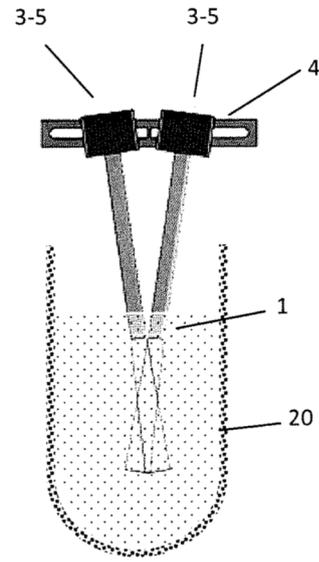
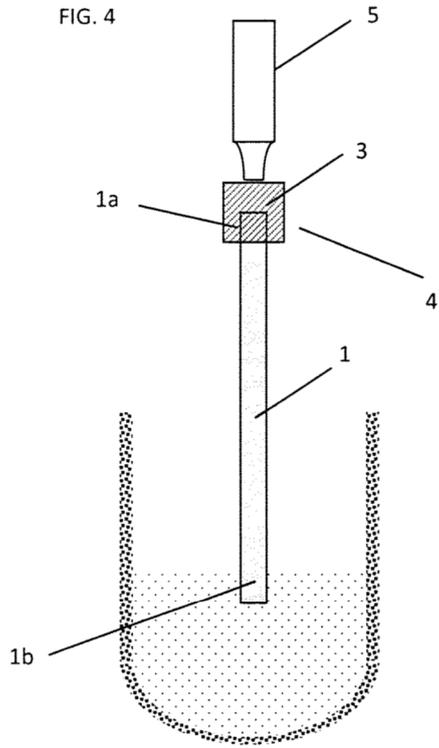


FIG. 5

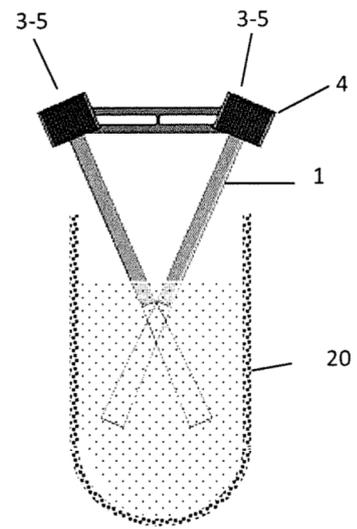
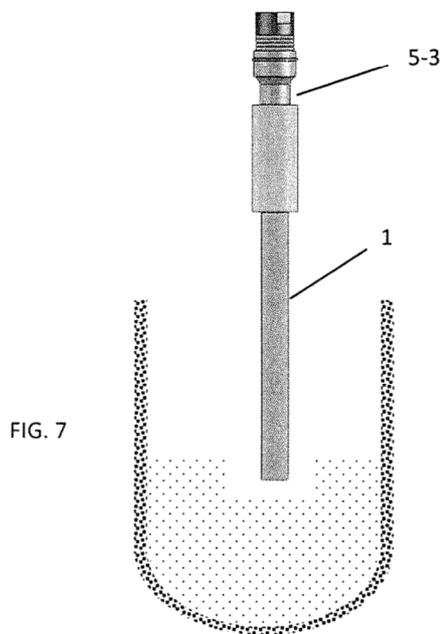


FIG. 6