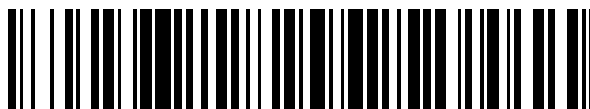


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 744 844**

51 Int. Cl.:

C22B 9/05 (2006.01)

C22B 21/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.11.2014** **PCT/US2014/065912**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.05.2015** **WO15073951**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.11.2014** **E 14820964 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.06.2019** **EP 3071718**

54 Título: **Sondas ultrasónicas con salidas de gas para la desgasificación de metales fundidos**

30 Prioridad:

18.11.2013 US 201361905408 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.02.2020

73 Titular/es:

SOUTHWIRE COMPANY, LLC (100.0%)
One Southwire Drive
Carrollton, GA 30119-4400, US

72 Inventor/es:

RUNDQUIST, VICTOR F.

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 744 844 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

Sondas ultrasónicas con salidas de gas para la desgasificación de metales fundidos

Antecedentes

- 5 El procesamiento o fundición de ciertos artículos de metal puede requerir un baño que contenga un metal fundido, y este baño de metal fundido puede mantenerse a una temperatura en un intervalo de 700°C a 1.200°C, o más, dependiendo del metal particular. Se pueden usar muchos instrumentos o dispositivos en el baño de metal fundido para la producción o fundición del artículo de metal deseado. Es necesario que estos instrumentos o dispositivos resistan mejor las temperaturas elevadas que se encuentran en el baño de metal fundido, que tienen una vida útil más larga y están limitados a la ausencia de reactividad con el metal fundido en particular.
- 10 Además, los metales fundidos pueden tener uno o más gases disueltos en ellos y/o impurezas presentes en ellos, y estos gases y/o impurezas pueden afectar negativamente a la producción final y la fundición del artículo de metal deseado, y/o a las propiedades físicas resultantes del artículo de metal en sí. Los intentos de reducir las cantidades de gases disueltos o impurezas presentes en los baños de metal fundido no han sido completamente exitosos. Por consiguiente, existe la necesidad de dispositivos y métodos mejorados para eliminar gases y/o impurezas de los
- 15 metales fundidos.
- El documento US 2012/042751 A1 describe métodos para desgasificar y eliminar impurezas de metales fundidos. Estos métodos pueden incluir operar un dispositivo ultrasónico en un baño de metal fundido y agregar un gas de purga al baño de metal fundido a través de la punta del dispositivo ultrasónico.

Compendio

- 20 La invención se define en el conjunto de reivindicaciones adjuntas.
- La sonda ultrasónica comprende dos o más canales de suministro de gas que se extienden a través de la sonda y que salen a aproximadamente 5 cm de la punta de la sonda (por ejemplo, dentro de aproximadamente 5 cm, dentro de aproximadamente 2 cm o dentro de aproximadamente 1 cm de la punta de la sonda o, alternativamente, en la punta de la sonda).
- 25 Tanto el compendio anterior como la siguiente descripción detallada proporcionan ejemplos y son solo explicativos. En consecuencia, el compendio anterior y la siguiente descripción detallada no deben considerarse restrictivos. Además, se pueden proporcionar características o variaciones además de las establecidas en esta memoria. Por ejemplo, ciertas realizaciones pueden dirigirse a diversas combinaciones de características y sub-combinaciones descritas en la descripción detallada.
- 30 **Breve descripción de los dibujos**
- Los dibujos adjuntos, que se incorporan y constituyen una parte de esta descripción, ilustran diversas realizaciones de la presente invención. En los dibujos:
- La figura 1A muestra una vista en sección transversal parcial de una sonda ultrasónica con múltiples canales de gas en una realización de la presente invención.
- 35 La figura 1B es una vista en perspectiva de la sonda ultrasónica de la figura 1A.
- La figura 1C muestra una vista en sección transversal parcial de un dispositivo ultrasónico que usa la sonda ultrasónica de la figura 1A.
- La figura 1D muestra una vista en primer plano de la interfaz entre la sonda ultrasónica y el refuerzo de la sonda ultrasónica y el dispositivo de las figuras 1A-1C.
- 40 La figura 2A muestra una vista en sección transversal parcial de una sonda ultrasónica con regiones empotradas en un diseño alternativo que no es parte de la invención reivindicada pero es útil para la comprensión de la misma.
- La figura 2B es una vista en perspectiva de la sonda ultrasónica de la figura 2A.
- La figura 3 muestra una vista en sección transversal parcial de un dispositivo ultrasónico en una realización de la presente invención.
- 45 La figura 4 muestra una vista en sección transversal parcial de un dispositivo ultrasónico en otra realización de la presente invención.
- La figura 5 muestra una vista en sección transversal parcial de un dispositivo ultrasónico en otra realización de la presente invención.
- La figura 6 muestra una vista en sección transversal parcial de un dispositivo ultrasónico en otra realización de la

presente invención.

La figura 7A muestra una vista en sección transversal parcial de una sonda ultrasónica con un único canal de gas en una realización de la presente invención.

La figura 7B es una vista en perspectiva de la sonda ultrasónica de la figura 7A.

- 5 La figura 8 es un gráfico de la concentración de hidrógeno en función del tiempo para los ejemplos 1-4.

Descripción detallada

10 La siguiente descripción detallada se refiere a los dibujos adjuntos. Siempre que sea posible, se usan los mismos números de referencia o similares en los dibujos y la siguiente descripción para referirse a los mismos elementos o similares. Aunque se pueden describir realizaciones de la invención, son posibles modificaciones, adaptaciones y otras implementaciones. Por ejemplo, se pueden hacer sustituciones, adiciones o modificaciones a los elementos ilustrados en los dibujos, y los métodos descritos en este documento pueden modificarse sustituyendo, reordenando o agregando etapas a los métodos descritos. Por consiguiente, la siguiente descripción detallada no limita el alcance de la invención.

15 Los términos "un", "uno" y "el" están destinados a incluir varias alternativas, por ejemplo, al menos una. Por ejemplo, la descripción de "un dispositivo ultrasónico", "una sonda alargada", "un gas de purga", etc., pretende abarcar uno o combinaciones de más de un dispositivo ultrasónico (por ejemplo, uno o dos o más dispositivos ultrasónicos), sonda alargada (por ejemplo, una o dos o más sondas alargadas), gas de purga (por ejemplo, uno o dos o más gases de purga), etc., a menos que se especifique lo contrario.

20 Todas las publicaciones y patentes mencionadas en esta memoria tienen el propósito de describir y divulgar, por ejemplo, las construcciones y metodologías que se describen en las publicaciones, que podrían usarse en relación con la invención actualmente descrita. Las publicaciones discutidas a lo largo del texto se proporcionan únicamente para su descripción antes de la fecha de presentación de la presente solicitud. Nada en la presente memoria debe interpretarse como una admisión de que los inventores no tienen derecho a anteceder dicha descripción en virtud de una invención anterior.

25 El solicitante describe varios tipos de intervalos en la presente invención. Cuando el solicitante describe o reivindica un intervalo de cualquier tipo, la intención del solicitante es describir o reivindicar individualmente cada número posible que dicho intervalo podría abarcar razonablemente, incluidos los puntos finales del intervalo, así como cualquier sub-intervalo y combinaciones de sub-intervalos abarcados en esto. Por ejemplo, en una realización de la invención, el gas de purga puede añadirse al baño de metal fundido a una velocidad en un intervalo de aproximadamente 1 a aproximadamente 50 l/min por sonda ultrasónica. Al describir que la tasa de flujo está en un intervalo de
30 aproximadamente 1 a aproximadamente 50 l/min, el solicitante pretende enumerar que la tasa de flujo puede ser cualquier tasa de flujo en el intervalo y, por ejemplo, puede ser aproximadamente 1, aproximadamente 2, aproximadamente 3, aproximadamente 4, aproximadamente 5, aproximadamente 6, aproximadamente 7, aproximadamente 8, aproximadamente 9, aproximadamente 10, aproximadamente 11, aproximadamente 12, aproximadamente 13, aproximadamente 14, aproximadamente 15, aproximadamente 16, aproximadamente 17,
35 aproximadamente 18, aproximadamente 19, aproximadamente 20, aproximadamente 21, aproximadamente 22, aproximadamente 23, aproximadamente 24, aproximadamente 25, aproximadamente 26, aproximadamente 27, aproximadamente 28, aproximadamente 29, aproximadamente 30, aproximadamente 31, aproximadamente 32, aproximadamente 33, aproximadamente 34, aproximadamente 35, aproximadamente 36, aproximadamente 37, aproximadamente 38, aproximadamente 39, aproximadamente 40, aproximadamente 41, aproximadamente 42,
40 aproximadamente 43, aproximadamente 44, aproximadamente 45, aproximadamente 46, aproximadamente 47, aproximadamente 48, aproximadamente 49, o aproximadamente 50 l/min. Además, la velocidad de flujo puede estar dentro de cualquier intervalo de aproximadamente 1 a aproximadamente 50 l/min (por ejemplo, la velocidad está en un intervalo de aproximadamente 2 a aproximadamente 20 l/min), y esto también incluye cualquier combinación de intervalos entre aproximadamente 1 y aproximadamente 50 l/min. Del mismo modo, todos los demás intervalos
45 descritos en esta memoria deben interpretarse de manera similar.

Las realizaciones de la presente invención pueden proporcionar sistemas, métodos y/o dispositivos para la desgasificación ultrasónica de metales fundidos. Dichos metales fundidos pueden incluir, entre otros, aluminio, cobre, acero, zinc, magnesio y similares, o combinaciones de estos y otros metales (por ejemplo, aleaciones). Por consiguiente, la presente invención no se limita a ningún metal particular o aleación metálica. El procesamiento o
50 fundición de artículos a partir de un metal fundido puede requerir un baño que contenga el metal fundido, y este baño del metal fundido puede mantenerse a temperaturas elevadas. Por ejemplo, el cobre fundido puede mantenerse a temperaturas de alrededor de 1.100°C, mientras que el aluminio fundido puede mantenerse a temperaturas de alrededor de 750°C.

55 Tal como se usa en la presente memoria, los términos "baño", "baño de metal fundido" y similares pretenden abarcar cualquier recipiente que pueda contener un metal fundido, incluido el recipiente, crisol, canal, lavado, horno, cazo, etc. Los términos de baño y baño de metal fundido se utilizan para abarcar operaciones discontinuas, continuas, semi-continuas, etc., y, por ejemplo, donde el metal fundido es generalmente estático (por ejemplo, a menudo asociado con un crisol) y donde el metal fundido está generalmente en movimiento (por ejemplo, a menudo asociado con un lavado).

Se pueden usar muchos instrumentos o dispositivos para monitorear, probar o modificar las condiciones del metal fundido en el baño, así como para la producción final o fundición del artículo de metal deseado. Es necesario que estos instrumentos o dispositivos resistan mejor las temperaturas elevadas que se encuentran en los baños de metal fundido, que tienen una vida útil más larga y se limitan a no tener reactividad con el metal fundido, ya sea que el metal sea (o el metal comprenda) aluminio o cobre, o acero, o zinc, o magnesio, y así sucesivamente.

Además, los metales fundidos pueden tener uno o más gases disueltos en ellos, y estos gases pueden afectar negativamente a la producción final y la fundición del artículo de metal deseado, y/o las propiedades físicas resultantes del propio artículo de metal. Por ejemplo, el gas disuelto en el metal fundido puede comprender hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, dióxido de azufre y similares, o combinaciones de los mismos. En algunas circunstancias, puede ser ventajoso eliminar el gas o reducir la cantidad de gas en el metal fundido. Como ejemplo, el hidrógeno disuelto puede ser perjudicial en la fundición de aluminio (o cobre u otro metal o aleación) y, por lo tanto, las propiedades de los artículos acabados producidos a partir de aluminio (o cobre, u otro metal o aleación) pueden mejorarse reduciendo la cantidad de hidrógeno arrastrado en el baño fundido de aluminio (o cobre u otro metal o aleación). El hidrógeno disuelto por encima de 0,2 ppm, por encima de 0,3 ppm, o por encima de 0,5 ppm, en masa, puede tener efectos perjudiciales en las velocidades de fundición y la calidad de las varillas de aluminio (o cobre u otro metal o aleación) y otros artículos resultantes. El hidrógeno puede introducirse en el baño de aluminio fundido (o cobre, u otro metal o aleación) por su presencia en la atmósfera sobre el baño que contiene el aluminio fundido (o cobre, u otro metal o aleación), o puede estar presente en la materia prima inicial de aluminio (o cobre u otro metal o aleación) utilizado en el baño de aluminio fundido (o cobre u otro metal o aleación).

Los intentos de reducir las cantidades de gases disueltos en baños de metal fundido no han sido completamente satisfactorios. Con frecuencia, estos procesos implican equipos adicionales y costosos, así como materiales potencialmente peligrosos. Por ejemplo, un proceso utilizado en la industria de fundición de metales para reducir el contenido de gas disuelto de un metal fundido puede consistir en rotores hechos de un material como el grafito, y estos rotores pueden colocarse dentro del baño de metal fundido. Además, se puede agregar gas de cloro al baño de metal fundido en posiciones adyacentes a los rotores dentro del baño de metal fundido. Este proceso se denominará el proceso "convencional" a lo largo de esta descripción, y en la industria a menudo se lo denomina purga de gas rotativa. Aunque el proceso convencional puede tener éxito en la reducción, por ejemplo, de la cantidad de hidrógeno disuelto en un baño de metal fundido en algunas situaciones, este proceso convencional tiene inconvenientes notables, entre los cuales se encuentran el coste, la complejidad y el uso de sustancias potencialmente peligrosas y gas de cloro potencialmente dañino para el medio ambiente.

Además, los metales fundidos pueden tener impurezas presentes en ellos, y estas impurezas pueden afectar negativamente a la producción final y la fundición del artículo de metal deseado, y/o a las propiedades físicas resultantes del propio artículo de metal. Por ejemplo, la impureza en el metal fundido puede comprender un metal alcalino u otro metal que no se requiere ni se desea que esté presente en el metal fundido. Como reconocería un experto en la materia, pequeños porcentajes de ciertos metales están presentes en diversas aleaciones de metales, y dichos metales no se considerarían impurezas. Como ejemplos no limitantes, las impurezas pueden comprender litio, sodio, potasio, plomo y similares, o combinaciones de los mismos. Diversas impurezas pueden entrar en un baño de metal fundido (aluminio, cobre u otro metal o aleación) por su presencia en el material de partida de materia prima de metal entrante utilizado en el baño de metal fundido. En ciertas realizaciones de esta invención, e inesperadamente, las sondas y dispositivos ultrasónicos, así como los métodos asociados, pueden ser capaces de reducir una impureza de metal alcalino, como sodio, a menos de 1 ppm (en peso) después de la desgasificación ultrasónica, de una cantidad inicial de, por ejemplo, al menos aproximadamente 3 ppm, al menos aproximadamente 4 ppm, de aproximadamente 3 a aproximadamente 10 ppm, y similares.

Además de las impurezas no deseadas, tales como los metales alcalinos, los metales fundidos también pueden tener inclusiones presentes que pueden afectar negativamente a la producción final y a la fundición del artículo de metal deseado, y/o a las propiedades físicas resultantes del propio artículo de metal. Las inclusiones totales o la concentración de inclusión se miden típicamente en unidades de mm²/ kg (mm² de inclusiones por kg de metal). En ciertas realizaciones de esta invención, e inesperadamente, las sondas y dispositivos ultrasónicos, así como los métodos asociados, pueden ser capaces de reducir la cantidad de inclusiones totales en al menos aproximadamente un 50%, comparando las inclusiones antes y después de la desgasificación ultrasónica como se describe en la presente memoria. En realizaciones particulares, la cantidad de inclusiones totales puede reducirse en al menos aproximadamente un 60%, al menos aproximadamente un 70%, al menos aproximadamente un 80%, al menos aproximadamente un 90%, al menos aproximadamente un 95% o al menos aproximadamente un 98%, y en algunos casos, hasta un 99-100%.

Las realizaciones de esta invención pueden proporcionar métodos para reducir una cantidad de gas disuelto en un baño de metal fundido o, en un lenguaje alternativo, métodos para desgasificar metales fundidos. Uno de tales métodos puede comprender operar un dispositivo ultrasónico en el baño de metal fundido e introducir un gas de purga en el baño de metal fundido en las proximidades del dispositivo ultrasónico. El gas disuelto puede ser o puede comprender oxígeno, hidrógeno, dióxido de azufre y similares, o combinaciones de los mismos. Por ejemplo, el gas disuelto puede ser o puede comprender hidrógeno. El baño de metal fundido puede comprender aluminio, cobre, zinc, acero, magnesio y similares, o mezclas y/o combinaciones de los mismos (por ejemplo, que incluyen diversas aleaciones de aluminio, cobre, zinc, acero, magnesio, etc.). En algunas realizaciones, el baño de metal fundido puede comprender

aluminio, mientras que en otras realizaciones, el baño de metal fundido puede comprender cobre. En consecuencia, el metal fundido en el baño puede ser aluminio o, alternativamente, el metal fundido puede ser cobre.

Además, las realizaciones de esta invención pueden proporcionar métodos para reducir una cantidad de impureza presente en un baño de metal fundido o, en un lenguaje alternativo, métodos para eliminar impurezas. Uno de tales métodos puede comprender operar un dispositivo ultrasónico en el baño de metal fundido e introducir un gas de purga en el baño de metal fundido en las proximidades del dispositivo ultrasónico. La impureza puede ser o puede comprender litio, sodio, potasio, plomo y similares, o combinaciones de los mismos. Por ejemplo, la impureza puede ser o puede comprender litio o, alternativamente, sodio. El baño de metal fundido puede comprender aluminio, cobre, zinc, acero, magnesio y similares, o mezclas y/o combinaciones de los mismos (por ejemplo, que incluyen diversas aleaciones de aluminio, cobre, zinc, acero, magnesio, etc.). En algunas realizaciones, el baño de metal fundido puede comprender aluminio, mientras que en otras realizaciones, el baño de metal fundido puede comprender cobre. En consecuencia, el metal fundido en el baño puede ser aluminio o, alternativamente, el metal fundido puede ser cobre.

El gas de purga empleado en los métodos de desgasificación y/o métodos de eliminación de impurezas descritos en esta memoria puede comprender uno o más de nitrógeno, helio, neón, argón, criptón y/o xenón, pero no está limitado a los mismos. Se contempla que se puede usar cualquier gas adecuado como gas de purga, siempre que el gas no reaccione apreciablemente o no se disuelva en el metal o metales específicos en el baño de metal fundido. Además, se pueden emplear mezclas o combinaciones de gases. Según algunas realizaciones descritas en esta memoria, el gas de purga puede ser o puede comprender un gas inerte; alternativamente, el gas de purga puede ser o puede comprender un gas noble; alternativamente, el gas de purga puede ser o puede comprender helio, neón, argón o combinaciones de los mismos; alternativamente, el gas de purga puede ser o puede comprender helio; alternativamente, el gas de purga puede ser o puede comprender neón; o alternativamente, el gas de purga puede ser o puede comprender argón. Además, el solicitante contempla que, en algunas realizaciones, la técnica de desgasificación convencional puede usarse junto con los procesos de desgasificación ultrasónica descritos en esta memoria. Por consiguiente, el gas de purga puede comprender además gas de cloro en algunas realizaciones, tal como el uso de gas de cloro como gas de purga solo o en combinación con al menos uno de nitrógeno, helio, neón, argón, criptón y/o xenón. Por otra parte, SF₆ se puede usar individualmente como gas de purga o en combinación con cualquier otro gas de purga descrito en esta memoria, por ejemplo, nitrógeno, argón, etc.

Sin embargo, en otras realizaciones de esta invención, los métodos para desgasificar o reducir una cantidad de un gas disuelto en un baño de metal fundido pueden llevarse a cabo en ausencia sustancial de gas de cloro, o sin gas de cloro presente. Como se usa en esta memoria, una ausencia sustancial significa que no se puede usar más del 5% de gas de cloro en peso, en función de la cantidad de gas de purga usado. En algunas realizaciones, los métodos descritos en la presente memoria pueden comprender la introducción de un gas de purga, y este gas de purga puede seleccionarse del grupo que consiste en nitrógeno, helio, neón, argón, criptón, xenón y combinaciones de los mismos.

La cantidad de gas de purga introducido en el baño de metal fundido puede variar dependiendo de varios factores. A menudo, la cantidad de gas de purga introducido en un método de desgasificación de metales fundidos (y/o en un método de eliminación de impurezas de metales fundidos) según las realizaciones de esta invención puede estar dentro de un intervalo de aproximadamente 0,1 a aproximadamente 150 litros/min estándar (L/min) para cada sonda ultrasónica. Como reconocería fácilmente un experto en la materia, se puede configurar más de una sonda ultrasónica en un dispositivo ultrasónico, y se puede utilizar más de un dispositivo ultrasónico en un baño de metal fundido (por ejemplo, de 1 a 20, de 2 a 20, de 2 a 16, de 4 a 12 dispositivos, etc.). Por lo tanto, los caudales de gas de purga descritos en la presente memoria están destinados a describir los caudales a través de una sola sonda ultrasónica. Por consiguiente, la cantidad del gas de purga introducido puede estar en un intervalo de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 100 l/min, de aproximadamente 1 a aproximadamente 100 l/min, de aproximadamente 1 a aproximadamente 50 l/min, de aproximadamente 1 a aproximadamente 35 l/min, de aproximadamente 1 a aproximadamente 25 l/min, de aproximadamente 1 a aproximadamente 10 l/min, de aproximadamente 1,5 a aproximadamente 20 l/min, de aproximadamente 2 a aproximadamente 15 l/min, o de aproximadamente 2 a aproximadamente 10 l/min, por sonda ultrasónica. Estos caudales volumétricos están en litros estándar por minuto, es decir, a una temperatura estándar (21,1°C) y presión (101 kPa). En circunstancias donde se usa más de una sonda ultrasónica (o más de un dispositivo ultrasónico) en un baño de metal fundido (por ejemplo, 2 sondas, 3 sondas, 4 sondas, de 1 a 8 sondas, de 2 a 8 sondas, de 1 a 4 sondas, y así sucesivamente, por dispositivo), el caudal de gas de purga para cada sonda, independientemente, puede estar en un intervalo de aproximadamente 0,1 a aproximadamente 50 l/min, de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 30 l/min, de aproximadamente 1 a aproximadamente 30 l/min, de aproximadamente 2 a aproximadamente 50 l/min, de aproximadamente 2 a aproximadamente 25 l/min, de aproximadamente 3 a aproximadamente 50 l/min, o de aproximadamente 4 a aproximadamente 25 l/min.

En operaciones de metal fundido continuo o semi-continuo, la cantidad de gas de purga introducido en el baño de metal fundido puede variar en función de la producción de metal fundido o la tasa de producción. Por consiguiente, la cantidad del gas de purga introducido en un método de desgasificación de metales fundidos (y/o en un método de eliminación de impurezas de metales fundidos) según tales realizaciones puede estar dentro de un intervalo de aproximadamente 10 a aproximadamente 500 ml/h de gas de purga por kg/h de metal fundido (ml de gas de purga/kg de metal fundido). En algunas realizaciones, la relación de la velocidad de flujo volumétrico del gas de purga a la velocidad de salida del metal fundido puede estar en un intervalo de aproximadamente 10 a aproximadamente 400

ml/kg; alternatively, de aproximadamente 15 a aproximadamente 300 ml/kg; alternatively, de aproximadamente 20 a aproximadamente 250 ml/kg; alternatively, de aproximadamente 30 a aproximadamente 200 ml/kg; alternatively, de aproximadamente 40 a aproximadamente 150 ml/kg; o alternatively, de aproximadamente 50 a aproximadamente 125 ml/kg. Como anteriormente, el caudal volumétrico del gas de purga está a una temperatura estándar (21,1°C) y presión (101 kPa).

Los métodos para desgasificar metales fundidos consistentes con las realizaciones de esta invención pueden ser efectivos para eliminar más de aproximadamente el 10 por ciento en peso del gas disuelto presente en el baño de metal fundido, es decir, la cantidad de gas disuelto en el baño de metal fundido puede reducirse en mayor medida aproximadamente el 10 por ciento en peso de la cantidad de gas disuelto presente antes de que se empleara el proceso de desgasificación. En algunas realizaciones, la cantidad de gas disuelto presente puede reducirse en más de aproximadamente el 15 por ciento en peso, más de aproximadamente el 20 por ciento en peso, más de aproximadamente el 25 por ciento en peso, más de aproximadamente el 35 por ciento en peso, más de aproximadamente el 50 por ciento en peso, más de aproximadamente el 75 por ciento en peso, o más de aproximadamente el 80 por ciento en peso, de la cantidad de gas disuelto presente antes de emplear el método de desgasificación. Por ejemplo, si el gas disuelto es hidrógeno, los niveles de hidrógeno en un baño fundido que contiene aluminio o cobre superiores a aproximadamente 0,3 ppm o 0,4 ppm o 0,5 ppm (en masa) pueden ser perjudiciales y, a menudo, el contenido de hidrógeno en el metal fundido puede ser de aproximadamente 0,4 ppm, aproximadamente 0,5 ppm, aproximadamente 0,6 ppm, aproximadamente 0,7 ppm, aproximadamente 0,8 ppm, aproximadamente 0,9 ppm, aproximadamente 1 ppm, aproximadamente 1,5 ppm, aproximadamente 2 ppm o más de 2 ppm. Se contempla que el empleo de los métodos descritos en las realizaciones de esta invención puede reducir la cantidad de gas disuelto en el baño de metal fundido a menos de aproximadamente 0,4 ppm; alternatively, a menos de aproximadamente 0,3 ppm; alternatively, a menos de aproximadamente 0,2 ppm; alternatively, dentro de un intervalo de aproximadamente 0,1 a aproximadamente 0,4 ppm; alternatively, dentro de un intervalo de aproximadamente 0,1 a aproximadamente 0,3 ppm; o alternatively, dentro de un intervalo de aproximadamente 0,2 a aproximadamente 0,3 ppm. En estas y otras realizaciones, el gas disuelto puede ser o puede comprender hidrógeno, y el baño de metal fundido puede ser o puede comprender aluminio y/o cobre.

Las realizaciones de esta invención dirigidas a métodos de desgasificación (por ejemplo, reducción de la cantidad de un gas disuelto en un baño que comprende un metal fundido) o a métodos para eliminar impurezas pueden comprender operar un dispositivo ultrasónico en el baño de metal fundido. El dispositivo ultrasónico puede comprender un transductor ultrasónico y una sonda alargada, y la sonda puede comprender un primer extremo y un segundo extremo. El primer extremo puede estar unido al transductor ultrasónico y el segundo extremo puede comprender una punta, y la punta de la sonda alargada puede comprender niobio. Los detalles sobre ejemplos ilustrativos y no limitantes de dispositivos ultrasónicos que pueden emplearse en los procesos y métodos descritos en la presente memoria se discutirán más adelante. Como se refiere a un proceso de desgasificación ultrasónica o a un proceso para eliminar impurezas, el gas de purga puede introducirse en el baño de metal fundido, por ejemplo, en una ubicación cerca del dispositivo ultrasónico. A menudo, el gas de purga puede introducirse en el baño de metal fundido en un lugar cerca de la punta del dispositivo ultrasónico. Se contempla que el gas de purga se puede introducir en el baño de metal fundido dentro de aproximadamente 1 metro de la punta del dispositivo ultrasónico, tal como, por ejemplo, dentro de aproximadamente 100 cm, dentro de aproximadamente 50 cm, dentro de aproximadamente 40 cm, dentro de aproximadamente 30 cm, dentro de unos 25 cm, o dentro de unos 20 cm, de la punta del dispositivo ultrasónico. En algunas realizaciones, el gas de purga puede introducirse en el baño de metal fundido dentro de aproximadamente 15 cm de la punta del dispositivo ultrasónico; alternatively, dentro de unos 10 cm; alternatively, dentro de unos 8 cm; alternatively, dentro de unos 5 cm; alternatively, dentro de unos 3 cm; alternatively, dentro de aproximadamente 2 cm; o alternatively, dentro de aproximadamente 1 cm. En una realización particular, el gas de purga puede introducirse en el baño de metal fundido adyacente a o a través de la punta del dispositivo ultrasónico.

Aunque no tiene la intención de limitarse a esta teoría, el solicitante cree que puede existir un efecto sinérgico entre el uso de un dispositivo ultrasónico y la incorporación de un gas de purga en las proximidades, lo que resulta en una reducción drástica en la cantidad de gas disuelto en un baño que contiene metal fundido. El solicitante cree que la energía ultrasónica producida por el dispositivo ultrasónico puede crear burbujas de cavitación en la masa fundida, dentro de las cuales el gas disuelto puede difundirse. Sin embargo, el solicitante cree que, en ausencia del gas de purga, muchas de las burbujas de cavitación pueden colapsar antes de alcanzar la superficie del baño de metal fundido. El solicitante cree que el gas de purga puede disminuir la cantidad de burbujas de cavitación que colapsan antes de llegar a la superficie, y/o puede aumentar el tamaño de las burbujas que contienen el gas disuelto, y/o puede aumentar el número de burbujas en el baño de metal fundido, y/o puede aumentar la velocidad de transporte de burbujas que contienen gas disuelto a la superficie del baño de metal fundido. Independientemente del mecanismo real, el solicitante cree que el uso de un dispositivo ultrasónico en combinación con una fuente de gas de purga en las proximidades puede proporcionar una mejora sinérgica en la eliminación del gas disuelto del baño de metal fundido y una reducción sinérgica en la cantidad de gas disuelto en el metal fundido. De nuevo, aunque no desea estar limitado por la teoría, el solicitante cree que el dispositivo ultrasónico puede crear burbujas de cavitación cerca de la punta del dispositivo ultrasónico. Por ejemplo, para un dispositivo ultrasónico que tiene una punta con un diámetro de aproximadamente 2 a 5 cm, las burbujas de cavitación pueden estar dentro de aproximadamente 15 cm, aproximadamente 10 cm, aproximadamente 5 cm, aproximadamente 2 cm o aproximadamente 1 cm de la punta del dispositivo ultrasónico antes de colapsar. Si el gas de purga se añade a una distancia que está demasiado lejos de la

punta del dispositivo ultrasónico, es posible que el gas de purga no pueda difundirse en las burbujas de cavitación. Por lo tanto, aunque no está limitado por la teoría, el solicitante cree que puede ser beneficioso que el gas de purga se introduzca en el baño de metal fundido cerca de la punta del dispositivo ultrasónico, por ejemplo, dentro de aproximadamente 25 cm o aproximadamente 20 cm de la punta del dispositivo ultrasónico, y más beneficiosamente, dentro de aproximadamente 15 cm, dentro de aproximadamente 10 cm, dentro de aproximadamente 5 cm, dentro de aproximadamente 2 cm, o dentro de aproximadamente 1 cm, de la punta del dispositivo ultrasónico.

Los dispositivos ultrasónicos según las realizaciones de esta invención pueden estar en contacto con metales fundidos tales como el aluminio o el cobre, por ejemplo, como se describe en el documento de publicación de patente de EE.UU. n. ° 2009/0224443. En un dispositivo ultrasónico para reducir el contenido de gas disuelto (por ejemplo, hidrógeno) en un metal fundido, el niobio o una aleación del mismo puede usarse como una barrera protectora para el dispositivo cuando está expuesto al metal fundido, o como un componente del dispositivo con exposición directa al metal fundido.

Las realizaciones de la presente invención pueden proporcionar sistemas y métodos para incrementar la vida útil de los componentes directamente en contacto con metales fundidos. Por ejemplo, las realizaciones de la invención pueden usar niobio para reducir la degradación de materiales en contacto con metales fundidos, dando como resultado mejoras significativas de la calidad en los productos finales. En otras palabras, las realizaciones de la invención pueden aumentar la vida útil o preservar materiales o componentes en contacto con metales fundidos mediante el uso de niobio como barrera protectora. El niobio puede tener propiedades, por ejemplo, su alto punto de fusión, que puede ayudar a proporcionar las realizaciones de la invención mencionadas anteriormente. Además, el niobio también puede formar una barrera protectora de óxido cuando se expone a temperaturas de aproximadamente 200°C y superiores.

Además, las realizaciones de la invención pueden proporcionar sistemas y métodos para aumentar la vida útil de los componentes directamente en contacto o en interconexión con metales fundidos. Debido a que el niobio tiene baja reactividad con ciertos metales fundidos, el uso de niobio puede evitar que el material del sustrato se degrade. En consecuencia, las realizaciones de la invención pueden usar niobio para reducir la degradación de los materiales del sustrato, lo que da como resultado mejoras de calidad significativas en los productos finales. En consecuencia, el niobio en asociación con metales fundidos puede combinar el alto punto de fusión del niobio y su baja reactividad con metales fundidos, como el aluminio y/o el cobre.

En algunas realizaciones, el niobio o una aleación del mismo puede usarse en un dispositivo ultrasónico que comprende un transductor ultrasónico y una sonda alargada. La sonda alargada puede comprender un primer extremo y un segundo extremo, en donde el primer extremo puede estar unido al transductor ultrasónico y el segundo extremo puede comprender una punta. Según esta realización, la punta de la sonda alargada puede comprender niobio (por ejemplo, niobio o una aleación del mismo). El dispositivo ultrasónico puede usarse en un proceso de desgasificación ultrasónica, como se ha discutido anteriormente. El transductor ultrasónico puede generar ondas ultrasónicas, y la sonda unida al transductor puede transmitir las ondas ultrasónicas a un baño que comprende un metal fundido, como aluminio, cobre, zinc, acero, magnesio y similares, o mezclas y/o combinaciones de los mismos (por ejemplo, incluyendo diversas aleaciones de aluminio, cobre, zinc, acero, magnesio, etc.).

Con referencia primero a la figura 3, que ilustra el uso de niobio y otros materiales en un dispositivo ultrasónico 300, que puede usarse para reducir el contenido de gas disuelto en un metal fundido. El dispositivo ultrasónico 300 puede incluir un transductor ultrasónico 360, un refuerzo 350 para aumentar la salida y un conjunto de sonda ultrasónica 302 unido al transductor 360. El conjunto de sonda ultrasónica 302 puede comprender una sonda ultrasónica alargada 304 y un medio ultrasónico 312. El dispositivo ultrasónico 300 y la sonda ultrasónica 304 pueden ser generalmente de forma cilíndrica, pero esto no es un requisito. La sonda ultrasónica 304 puede comprender un primer extremo y un segundo extremo, en donde el primer extremo comprende un eje de sonda ultrasónica 306 que está unido al transductor ultrasónico 360. La sonda ultrasónica 304 y el eje de la sonda ultrasónica 306 pueden estar contruidos de varios materiales. Los materiales ejemplares pueden incluir, entre otros, acero inoxidable, titanio, niobio, una cerámica (por ejemplo, un Sialon, un carburo de silicio, un carburo de boro, un nitruro de boro, un nitruro de silicio, un nitruro de aluminio, un óxido de aluminio, una circona, etc.) y similares, o combinaciones de los mismos. El segundo extremo de la sonda ultrasónica 304 puede comprender una punta de sonda ultrasónica 310. La punta de la sonda ultrasónica 310 puede comprender niobio. Alternativamente, la punta 310 puede ser consistente esencialmente con, o consistir en, niobio. El niobio puede ser aleado con uno o más metales, o el niobio puede ser una capa que está chapada o recubierta sobre una capa base de otro material. Por ejemplo, la punta 310 puede comprender una capa interna y una capa externa, en donde la capa interna puede comprender un material cerámico o de metal (por ejemplo, titanio) y la capa externa puede comprender niobio. En esta realización, el grosor de la capa externa que comprende niobio puede ser inferior a aproximadamente 25 micras, o inferior a aproximadamente 10 micras, o alternativamente, dentro de un intervalo de aproximadamente 2 a aproximadamente 8 micras. Por ejemplo, el grosor de la capa externa que comprende niobio puede estar en el intervalo de aproximadamente 3 a aproximadamente 6 micras.

El eje de la sonda ultrasónica 306 y la punta de la sonda ultrasónica 310 pueden estar unidos por un conector 308. El conector 308 puede representar un medio para unir el eje 306 y la punta 310. Por ejemplo, el eje 306 y la punta 310 pueden estar atornillados o soldados juntos. En una realización, el conector 308 puede representar que el eje 306 contiene roscas empotradas y la punta 310 se puede atornillar en el eje 306. Se contempla que el eje de la sonda ultrasónica 306 y la punta de la sonda ultrasónica 310 pueden comprender diferentes materiales. Por ejemplo, el eje de la sonda ultrasónica 306 puede ser o puede comprender titanio y/o niobio, mientras que la punta de la sonda

ultrasónica 310 puede ser o puede comprender niobio. Alternativamente, el eje de la sonda ultrasónica 306 puede ser o puede comprender titanio y/o cerámica (por ejemplo, un Sialon, un carburo de silicio, un carburo de boro, un nitruro de boro, un nitruro de silicio, un nitruro de aluminio, un óxido de aluminio, una circonita, etc.), mientras que la punta de la sonda ultrasónica 310 puede ser o puede comprender una cerámica (por ejemplo, un Sialon, un carburo de silicio, un carburo de boro, un nitruro de boro, un nitruro de silicio, un nitruro de aluminio, un óxido de aluminio, una circonita, etc.).

En otras realizaciones, la sonda ultrasónica 304 puede ser una sola pieza, por ejemplo, el eje de la sonda ultrasónica 306 y la punta de la sonda ultrasónica 310 son una parte unitaria que tiene la misma construcción. En tales casos, la sonda ultrasónica puede comprender, por ejemplo, niobio o una aleación del mismo, una cerámica (por ejemplo, un Sialon, un carburo de silicio, un carburo de boro, un nitruro de boro, un nitruro de silicio, un nitruro de aluminio, un óxido de aluminio, una circonita, etc.) u otro material adecuado.

En referencia de nuevo a la figura 3, el dispositivo ultrasónico 300 puede comprender un tubo interno 328, un tubo central 324, un tubo externo 320 y un tubo de protección 340. Estos tubos o canales pueden rodear al menos una parte de la sonda ultrasónica 304 y generalmente pueden estar contruidos de cualquier metal o material cerámico adecuado. Puede esperarse que la punta de la sonda ultrasónica 310 se coloque en el baño de metal fundido; sin embargo, se contempla que una parte del tubo de protección 340 también pueda estar sumergida en metal fundido. En consecuencia, el tubo de protección 340 puede ser o puede comprender titanio, niobio, una cerámica (por ejemplo, un Sialon, un carburo de silicio, un carburo de boro, un nitruro de boro, un nitruro de silicio, un nitruro de aluminio, un óxido de aluminio, una circonita, etc.), o una combinación de más de uno de estos materiales. Contenidos dentro de los tubos 328, 324, 320 y 340 pueden estar los fluidos 322, 326 y 342, como se ilustra en la figura 3. El fluido puede ser un líquido o un gas (por ejemplo, argón), cuyo propósito puede ser proporcionar refrigeración al dispositivo ultrasónico 300 y, en particular, a la punta de la sonda ultrasónica 310 y al tubo de protección 340.

El dispositivo ultrasónico 300 puede comprender una tapa de extremo 344. La tapa de extremo puede cerrar el espacio entre el tubo de protección 340 y la punta de la sonda 310 y puede reducir o evitar que el metal fundido entre en el dispositivo de ultrasonido 300. Similar al tubo de protección 340, la tapa extrema 344 puede ser o puede comprender, por ejemplo, titanio, niobio, una cerámica (por ejemplo, un Sialon, un carburo de silicio, un carburo de boro, un nitruro de boro, un nitruro de silicio, un nitruro de aluminio, un óxido de aluminio, una circonita, etc.), o una combinación de más de uno de estos materiales.

La punta de la sonda ultrasónica 310, el tubo de protección 340, o la tapa del extremo 344, o los tres, pueden comprender niobio. El niobio se puede utilizar solo, el niobio puede ser aleado con uno o más metales, o el niobio puede ser una capa que está chapada o recubierta sobre una capa base de otro material. Por ejemplo, la punta de la sonda ultrasónica 310, el tubo de protección 340, o la tapa del extremo 344, o los tres, pueden comprender una capa interna y una capa externa, en donde la capa interna puede comprender un material cerámico o metálico y la capa externa puede comprender niobio. Se puede esperar que la presencia de niobio en partes del dispositivo ultrasónico pueda mejorar la vida útil del dispositivo, pueda proporcionar una baja o nula reactividad química cuando está en contacto con metales fundidos, pueda proporcionar resistencia a la temperatura de fusión del metal fundido, y pueda tener la capacidad de propagar ondas ultrasónicas. Según algunas realizaciones de esta invención, cuando la punta 310 del dispositivo ultrasónico no comprende niobio, la punta puede mostrar erosión o degradación después de solo aproximadamente 15-30 minutos en un baño de metal fundido (por ejemplo, de aluminio o cobre). En contraste, cuando la punta del dispositivo ultrasónico comprende niobio, la punta puede mostrar una erosión o degradación nulas o mínimas después de al menos 1 hora o más, por ejemplo, no hay erosión o degradación después de al menos 2 horas, después de al menos 3 horas, después de al menos 4 horas, después de al menos 5 horas, después de al menos 6 horas, después de al menos 12 horas, después de al menos 24 horas, después de al menos 48 horas o después de al menos 72 horas.

En otra realización, la punta de la sonda ultrasónica 310, el tubo de protección 340, o la tapa del extremo 344, o los tres, pueden comprender una cerámica, tal como un Sialon, un carburo de silicio, un carburo de boro, un nitruro de boro, un nitruro de silicio, un nitruro de aluminio, un óxido de aluminio y/o una circonita, y similares. Además, el eje de la sonda ultrasónica 306 puede comprender una cerámica, o alternativamente, titanio.

La figura 4 ilustra otro dispositivo ultrasónico 400 que puede comprender niobio, una cerámica como un Sialon, un carburo de silicio, un carburo de boro, un nitruro de boro, un nitruro de silicio, un nitruro de aluminio, un óxido de aluminio y/o una circonita u otro material adecuado. El dispositivo ultrasónico 400 puede incluir un transductor ultrasónico 460, un refuerzo 450 para aumentar la salida y un conjunto de sonda ultrasónica 402 conectado al transductor 460. El refuerzo 450 puede permitir un aumento de la producción a niveles de refuerzo superiores a aproximadamente 1: 1, por ejemplo, de aproximadamente 1.2: 1 a aproximadamente 10: 1, o de aproximadamente 1.4: 1 a aproximadamente 5: 1. Se puede emplear un conjunto de abrazadera de refuerzo 451 que tiene una altura H, donde la altura H puede variar según sea necesario para acomodar sondas ultrasónicas de diferente longitud. El conjunto de sonda ultrasónica 402 puede comprender una sonda ultrasónica alargada como se representa en la figura 3 y una punta de sonda ultrasónica 410. La punta y la sonda ultrasónica pueden estar contruidas de varios materiales, como se ha discutido anteriormente, que incluyen, entre otros, acero inoxidable, titanio, niobio, cerámica y similares, o combinaciones de los mismos, incluidos mezclas de los mismos, aleaciones de los mismos y revestimientos de los mismos.

El dispositivo ultrasónico 400 puede comprender un medio para introducir un gas de purga (por ejemplo, en un baño de metal fundido) en una ubicación cerca del dispositivo ultrasónico 400. Se contempla que un sistema externo de inyección de gas de purga (no mostrado) se pueda colocar en el baño de metal fundido, y el sitio de inyección puede estar cerca del dispositivo ultrasónico de la figura 3 y/o la figura 4. Alternativamente, el dispositivo ultrasónico puede comprender una salida de gas de purga, de modo que el gas de purga pueda ser expulsado cerca o en la punta del dispositivo ultrasónico. Por ejemplo, el gas de purga puede ser expulsado a través de la tapa del extremo del dispositivo ultrasónico y/o a través de la sonda del dispositivo ultrasónico. En referencia de nuevo a la figura 4, el dispositivo ultrasónico puede comprender un puerto de entrada de gas de purga 424 y una cámara de inyección 425, conectada a un canal de suministro de gas de purga 413. El gas de purga puede ser entregado y expulsado a través de un espacio de suministro de gas de purga 414 ubicado cerca o en la punta 410 del dispositivo ultrasónico 400. Se contempla que el espacio de suministro de gas de purga 414, o la salida de gas de purga, puede estar dentro de aproximadamente 10 cm de la punta 410 del dispositivo ultrasónico 400, tal como, por ejemplo, dentro de aproximadamente 5 cm, dentro de aproximadamente 3 cm, dentro de aproximadamente 2 cm, dentro de aproximadamente 1,5 cm, dentro de aproximadamente 1 cm, o dentro de aproximadamente 0,5 cm, de la punta del dispositivo ultrasónico.

Además, el dispositivo ultrasónico 400 puede comprender un sistema de refrigeración ultrasónico 429, que puede estar diseñado para mantener la punta ultrasónica y/o la sonda ultrasónica y/o el conjunto de sonda ultrasónica a una temperatura más cercana a la temperatura ambiente (por ejemplo, la temperatura puede estar en un intervalo de aproximadamente 15°C a aproximadamente 75°C, o de aproximadamente 20°C a aproximadamente 35°C), en oposición a las temperaturas elevadas de metal fundido experimentadas por la superficie externa de la punta 410 del dispositivo ultrasónico. Se contempla que no se requiera un sistema de refrigeración ultrasónico si la sonda ultrasónica y el conjunto comprenden niobio, una cerámica tal como un Sialon, un carburo de silicio, un carburo de boro, un nitruro de boro, un nitruro de silicio, un nitruro de aluminio, un aluminio óxido y/o una circonita u otro material adecuado. El sistema de refrigeración ultrasónico 429 de la figura 4 puede ser similar a ese sistema representado en la figura 3 que incluye, por ejemplo, un tubo interno 328, un tubo central 324, un tubo externo 320, un tubo de protección 340 y fluidos 322, 326 y 342, diseñados para proporcionar refrigeración y/o control de temperatura al dispositivo ultrasónico. El fluido puede ser un líquido o un gas, y se contempla que el fluido pueda ser del mismo material que el gas de purga.

La figura 5 ilustra otro dispositivo ultrasónico 500 que puede comprender niobio, una cerámica como un Sialon, un carburo de silicio, un carburo de boro, un nitruro de boro, un nitruro de silicio, un nitruro de aluminio, un óxido de aluminio y/o una circonita, u otro material adecuado. El dispositivo ultrasónico 500 puede incluir un transductor ultrasónico 560, un refuerzo 550 para aumentar la salida, y un conjunto de sonda ultrasónica 510 unido al transductor 560. El refuerzo 550 puede permitir una mayor producción a niveles de refuerzo mayores que aproximadamente 1: 1, por ejemplo, de aproximadamente 1.2: 1 a aproximadamente 10: 1, o de aproximadamente 1.4: 1 a aproximadamente 5: 1. La sonda ultrasónica 510 puede ser una sola pieza, o la sonda ultrasónica 510 puede comprender un eje de sonda ultrasónica y una punta de sonda ultrasónica opcional (y reemplazable) 511, similar a la representada en la figura 3. La punta y la sonda ultrasónica pueden estar construidas de varios materiales, como se ha discutido anteriormente, que incluyen, entre otros, acero inoxidable, titanio, niobio, cerámica y similares, o combinaciones de los mismos, incluidas sus mezclas, aleaciones de los mismos, y revestimientos de los mismos.

El dispositivo ultrasónico 500 puede comprender un medio para introducir un gas de purga (por ejemplo, en un baño de metal fundido) en una ubicación cerca del dispositivo ultrasónico 500 y/o cerca de la punta de la sonda ultrasónica 511. Como se ha mencionado anteriormente, se contempla que una purga externa el sistema de inyección de gas (no mostrado) puede colocarse en el baño de metal fundido, y el sitio de inyección puede estar cerca del dispositivo ultrasónico de la figura 5. Alternativamente, el dispositivo ultrasónico puede comprender una salida de gas de purga, de modo que el gas de purga pueda ser expulsado cerca o en la punta del dispositivo ultrasónico. Por ejemplo, el gas de purga puede ser expulsado a través de la sonda/punta del dispositivo ultrasónico. En referencia de nuevo a la figura 5, el dispositivo ultrasónico puede comprender un puerto de entrada de gas de purga 522 en una cámara con el refuerzo 550, una carcasa superior 520, una carcasa de soporte inferior 521 y una cubierta de carcasa de soporte inferior 523. La carcasa superior 520 puede ser estanca al gas y/o a prueba de fugas. El puerto de entrada de gas de purga 522 puede estar conectado a un canal de suministro de gas de purga 524, que puede estar contenido dentro de la sonda ultrasónica 510. El gas de purga puede ser entregado y expulsado a través de un punto de inyección de gas de purga 525 (o puerto de salida de gas de purga) ubicado en la punta 511 del dispositivo ultrasónico 500. Por consiguiente, en esta realización, el dispositivo ultrasónico 500 puede comprender una sonda ultrasónica 510 que comprende un sistema de inyección de gas de purga con un punto de inyección de gas de purga en la punta de la sonda ultrasónica.

Opcionalmente, el dispositivo ultrasónico 500 puede comprender un sistema de refrigeración ultrasónico, tal como se ha descrito anteriormente en relación con la figura 3 y/o la figura 4, pero esto no es un requisito.

Otro dispositivo ultrasónico se ilustra en la figura 6. El dispositivo ultrasónico 600 puede incluir un transductor ultrasónico 660, un refuerzo 650 para aumentar la salida y una sonda ultrasónica 610 unida al transductor 660 y al refuerzo 650. El refuerzo 650 puede estar en comunicación con el transductor 660 y puede permitir un aumento de salida a niveles de refuerzo mayores que aproximadamente 1: 1, por ejemplo, de aproximadamente 1.2: 1 a aproximadamente 10: 1, o de aproximadamente 1.4: 1 a aproximadamente 5: 1. En algunas realizaciones, el refuerzo puede ser o puede comprender un metal, tal como titanio. La sonda ultrasónica 610 puede ser de una sola pieza, o la

sonda ultrasónica 610 puede comprender un eje de sonda ultrasónica y una punta de sonda ultrasónica opcional (y reemplazable), similar a la representada en la figura 3. La sonda ultrasónica 610 no está limitada en forma y diseño a una sonda alargada (por ejemplo, generalmente cilíndrica) con un extremo unido al transductor 660 y/o refuerzo 650, y el otro extremo comprende una punta de la sonda. En una realización, la sonda puede ser generalmente cilíndrica, sin embargo, una parte media de la sonda puede estar asegurada al transductor/refuerzo con una abrazadera u otro mecanismo de fijación, de modo que la sonda tiene dos puntas, ninguna de las cuales está unida directamente al transductor/refuerzo. Sin embargo, en otra realización, la sonda puede tener otra forma geométrica, tal como esférica o cilíndrica con una porción esférica en la punta, etc.

La sonda ultrasónica 610 puede estar construida de varios materiales, como se ha discutido anteriormente, que incluyen, pero no se limitan a, acero inoxidable, titanio, niobio, cerámica y similares, o combinaciones de los mismos, incluidas sus mezclas, aleaciones y revestimientos de los mismos. En ciertas realizaciones, la sonda ultrasónica 610 puede ser o puede comprender un material cerámico. Por ejemplo, la sonda ultrasónica puede ser o puede comprender un Sialon, un carburo de silicio, un carburo de boro, un nitruro de boro, un nitruro de silicio, un nitruro de aluminio, un óxido de aluminio, una circona o una combinación de los mismos; alternativamente, un Sialon; alternativamente, un carburo de silicio; alternativamente, un carburo de boro; alternativamente, un nitruro de boro; alternativamente, un nitruro de silicio; alternativamente, un nitruro de aluminio; alternativamente, un óxido de aluminio; o alternativamente, una circona. En algunas realizaciones, la sonda ultrasónica 610 puede ser una sola pieza, por ejemplo, la sonda es una parte unitaria, que tiene la misma construcción o composición desde el extremo unido al transductor/refuerzo a la punta de la sonda.

Los Sialones típicos que pueden usarse en realizaciones descritas en la presente memoria son aleaciones cerámicas que contienen los elementos silicio (Si), aluminio (Al), oxígeno (O) y nitrógeno (N). Además, como reconocería un experto en la materia, existen grados de α -Sialon y β -Sialon. La sonda ultrasónica 610 puede comprender un Sialon, y además, al menos el 20% (en peso) de los cuales puede ser α -Sialon (o β -Sialon). Aunque no desea limitarse a la teoría, el solicitante cree que el uso de al menos el 20% (en peso), o el 30% (en peso), o un porcentaje en peso en un intervalo de aproximadamente el 20% a aproximadamente el 50%, de β -Sialon puede proporcionar una sonda ultrasónica más fuerte y duradera (por ejemplo, menos propensa a la rotura).

El dispositivo ultrasónico 600 puede comprender un medio para introducir un gas (por ejemplo, un gas de purga en un baño de metal fundido) en una ubicación cerca del dispositivo ultrasónico 600 y/o cerca de la punta de la sonda ultrasónica. Como se ha indicado anteriormente, se contempla que un sistema externo de inyección de gas de purga (no mostrado) puede colocarse en el baño de metal fundido, y el sitio de inyección puede estar cerca del dispositivo ultrasónico de la figura 6. Alternativamente, el dispositivo ultrasónico puede comprender un sistema de suministro de gas, de modo que se pueda expulsar un gas cerca o en la punta del dispositivo ultrasónico. Por ejemplo, el gas puede ser expulsado a través de la sonda/punta del dispositivo ultrasónico. En referencia de nuevo a la figura 6, el dispositivo ultrasónico 600 puede comprender un puerto de entrada de gas 622 en una cámara en el refuerzo 650. El puerto de entrada de gas 622 puede estar conectado a un canal de suministro de gas 624, que puede extenderse desde el refuerzo 650 hasta la punta de la sonda ultrasónica 610. El puerto de entrada de gas 622 y parte del refuerzo 650 pueden estar contenidos dentro de una carcasa hermética al gas y/o a prueba de fugas. El gas puede ser entregado y expulsado a través de un punto de inyección de gas 625 (o salida de gas) ubicado en la punta de la sonda ultrasónica 610. Por consiguiente, en esta realización, el dispositivo ultrasónico 600 puede comprender una sonda ultrasónica 610 que comprende un sistema de suministro de gas con un punto de inyección de gas en la punta de la sonda ultrasónica.

El canal de suministro de gas 624 se muestra en la figura 6 como que tiene una ruta de flujo más grande en el refuerzo 650 y una porción de la sonda ultrasónica 610 más cercana al refuerzo, y una ruta de flujo más pequeña en el punto de inyección de gas 625, aunque esto no es un requisito. Por ejemplo, el tamaño del canal de suministro de gas 624 puede ser sustancialmente del mismo tamaño (por ejemplo, dentro de ± 10 -20%) desde el puerto de entrada de gas 622 hasta el punto de inyección de gas 625 en la punta de la sonda ultrasónica 610.

Aunque no desea estar limitado por la teoría, el solicitante cree que una ruta de flujo más pequeña (por ejemplo, área de sección transversal) en el punto de inyección de gas, en relación con el área de sección transversal de la sonda ultrasónica, puede dar como resultado una desgasificación superior debido a la mayor velocidad del gas cuando sale de la sonda. En algunas realizaciones, la relación del área de la sección transversal de la sonda ultrasónica al área de la sección transversal del canal de suministro de gas (es decir, en el punto de inyección de gas o salida de gas) puede estar en un intervalo de aproximadamente 30: 1 a aproximadamente 1000: 1, de aproximadamente 60: 1 a aproximadamente 1000: 1, o de aproximadamente 60: 1 a aproximadamente 750: 1. En otras realizaciones, la relación del área de la sección transversal de la sonda ultrasónica al área de la sección transversal del canal de suministro de gas (es decir, en el punto de inyección de gas o salida de gas) puede estar en un intervalo de aproximadamente 60: 1 a aproximadamente 700: 1, de aproximadamente 100: 1 a aproximadamente 700: 1, o de aproximadamente 200: 1 a aproximadamente 1000: 1. En estas y otras realizaciones, la relación longitud/diámetro (L/D) de la sonda ultrasónica (por ejemplo, una sonda alargada unitaria) puede estar en un intervalo de aproximadamente 5: 1 a aproximadamente 25: 1, de aproximadamente 5: 1 a aproximadamente 12: 1, de aproximadamente 7: 1 a aproximadamente 22: 1, de aproximadamente 10: 1 a aproximadamente 20: 1, o de aproximadamente 11: 1 a aproximadamente 18: 1.

En realizaciones dirigidas a sondas ultrasónicas que contienen un material cerámico, como un Sialon, puede ser beneficioso emplear una tuerca de fijación 603 como un medio para asegurar la sonda ultrasónica 610 al refuerzo 650

y al transductor 660. La tuerca de fijación 603 puede ofrecer una longevidad y durabilidad superior en comparación con los accesorios cerámicos retráctiles. La tuerca de fijación 603 puede estar construida de varios materiales, como, por ejemplo, titanio, acero inoxidable, etc., y puede contener bandas de rodadura de paso fino (interno) para una fijación robusta, aliviando la necesidad de tener una sonda de cerámica roscada que es más propensa a la rotura. Además, el refuerzo 650 puede tener roscas externas, sobre las cuales la tuerca de fijación 603 (y, por lo tanto, la sonda 610) puede estar firmemente asegurada. En general, también puede ser beneficioso mantener el tamaño y/o peso de la tuerca de fijación tan bajo como sea mecánicamente posible, de modo que las propiedades vibratorias ultrasónicas de la sonda no se vean afectadas negativamente.

En ciertas realizaciones, la sonda 610 puede tener un radio de curvatura grande 615 en el lado de unión de la sonda. Aunque no desea estar limitado por la teoría, el solicitante cree que un radio de curvatura más pequeño en el lado de conexión de la sonda (por ejemplo, próximo a la tuerca de fijación) puede conducir a una mayor rotura de la sonda, particularmente a potencias ultrasónicas más altas y/o amplitudes que pueden requerir un aumento de la cavitación y una eliminación superior del gas disuelto en un proceso de desgasificación. En realizaciones particulares contempladas en esta memoria, el radio de curvatura 615 puede ser al menos aproximadamente 1/2", al menos aproximadamente 5/8", al menos aproximadamente 3/4", al menos aproximadamente 1", y así sucesivamente. Tales radios de curvatura pueden ser convenientes independientemente del tamaño real de la sonda (por ejemplo, varios diámetros de sonda).

Opcionalmente, el dispositivo ultrasónico 600 puede comprender un sistema de refrigeración ultrasónico, tal como se describe anteriormente en relación con la figura 3 y/o la figura 4, pero esto no es un requisito. En referencia de nuevo a la figura 6, el dispositivo ultrasónico 600, alternativamente, puede comprender opcionalmente una carcasa de protección térmica 640. Esta carcasa puede estar construida generalmente de cualquier metal o material cerámico adecuado. Puede esperarse que la sonda ultrasónica 610 se coloque en el baño de metal fundido; por lo tanto, la carcasa de protección térmica puede usarse para proteger una porción del refuerzo 650, la tuerca de fijación 603 y una porción de la sonda ultrasónica 610 del calor excesivo. Si se desea, puede circular un medio de refrigeración dentro y/o alrededor de la carcasa de protección térmica 640. El medio de refrigeración puede ser un líquido (por ejemplo, agua) o un gas (por ejemplo, argón, nitrógeno, aire, etc.).

Los dispositivos ultrasónicos descritos en esta memoria, incluidos los ilustrados en las figuras 3-6, se pueden operar en un intervalo de potencias y frecuencias. Para dispositivos ultrasónicos con diámetros de sonda de aproximadamente 1" o menos, la potencia de funcionamiento a menudo puede estar en un intervalo de aproximadamente 60 a aproximadamente 275 vatios. Como ejemplo, se pueden emplear intervalos de potencia de funcionamiento de aproximadamente 60 a aproximadamente 120 vatios para sonda de 3/4" e intervalos de potencia de funcionamiento de aproximadamente 120 a aproximadamente 250 vatios para diámetros de sonda de 1". Aunque no se limita a ninguna frecuencia en particular, los dispositivos ultrasónicos pueden funcionar y los métodos de desgasificación ultrasónica pueden realizarse a una frecuencia que típicamente puede estar en un intervalo de aproximadamente 10 a aproximadamente 50 kHz, de aproximadamente 15 a aproximadamente 40 kHz, o aproximadamente a 20 kHz.

Con referencia ahora a las figuras 7A-7B, que ilustran una sonda ultrasónica 710 que puede usarse en cualquiera de los dispositivos ultrasónicos de las figuras 3-6. Como se ilustra, la sonda ultrasónica 710 se muestra como una sola pieza (parte unitaria), pero puede comprender un eje de sonda ultrasónica y una punta de sonda ultrasónica opcional (y reemplazable), como se describe anteriormente para la figura 3, en ciertas realizaciones. Además, la sonda ultrasónica 710 se muestra como una sonda alargada (por ejemplo, generalmente cilíndrica), pero no se limita a esta forma geométrica.

La sonda ultrasónica 710 puede estar construida de diversos materiales, como se discute en la presente memoria, que incluyen, pero no se limitan a, acero inoxidable, titanio, niobio, cerámica y similares, o combinaciones de los mismos, incluidas sus mezclas, aleaciones y revestimientos. En ciertas realizaciones, la sonda ultrasónica 710 puede ser o puede comprender un material cerámico. Por ejemplo, la sonda ultrasónica 710 puede ser o puede comprender un Sialon, un carburo de silicio, un carburo de boro, un nitruro de boro, un nitruro de silicio, un nitruro de aluminio, un óxido de aluminio, una circona o una combinación de los mismos; alternativamente, un Sialon (por ejemplo, cualquier Sialon descrito en esta memoria); alternativamente, un carburo de silicio; alternativamente, un carburo de boro; alternativamente, un nitruro de boro; alternativamente, un nitruro de silicio; alternativamente, un nitruro de aluminio; alternativamente, un óxido de aluminio; o alternativamente, una circona.

La sonda ultrasónica 710 puede comprender un canal de gas 724 en el centro de la sonda y que se extiende a lo largo de toda la sonda, con una salida de gas 725 en la punta de la sonda. Se puede suministrar un gas de purga a través del canal de gas 724 y expulsarlo a la salida de gas 725 en la punta de la sonda ultrasónica 710. En algunas realizaciones, la relación del área de la sección transversal de la sonda ultrasónica 710 con el área de la sección transversal del canal de gas 724 (por ejemplo, en cualquier lugar dentro de la longitud de la sonda, o en la salida de gas 725) puede estar en un intervalo de aproximadamente 30: 1 a aproximadamente 1000: 1, de aproximadamente 60: 1 a aproximadamente 1000: 1, o de aproximadamente 60: 1 a aproximadamente 750: 1. En otras realizaciones, la relación del área de la sección transversal de la sonda ultrasónica 710 con el área de la sección transversal del canal de gas 724 puede estar en un intervalo de aproximadamente 60: 1 a aproximadamente 700: 1, de aproximadamente 100: 1 a aproximadamente 700: 1, de aproximadamente 50: 1 a aproximadamente 500: 1, o de aproximadamente 200:

1 a aproximadamente 1000: 1. En estas y otras realizaciones, la relación longitud/diámetro (L/D) de la sonda ultrasónica 710 puede estar en un intervalo de aproximadamente 5: 1 a aproximadamente 25: 1, de aproximadamente 5: 1 a aproximadamente 15: 1, de aproximadamente 5: 1 a aproximadamente 12: 1, de aproximadamente 7: 1 a aproximadamente 22: 1, de aproximadamente 7: 1 a aproximadamente 14: 1, de aproximadamente 10: 1 a aproximadamente 20: 1, o de aproximadamente 11: 1 a aproximadamente 18: 1.

La sonda ultrasónica 710 se puede asegurar a un dispositivo ultrasónico usando cualquier método adecuado conocido por los expertos en la técnica, por ejemplo, usando una tuerca de fijación como se describe en esta memoria. En ciertas realizaciones, la sonda 710 puede tener un gran radio de curvatura 715 en el lado de unión de la sonda, lo que puede reducir la rotura de la sonda y aumentar la vida útil de la sonda. En realizaciones particulares contempladas en esta memoria, el radio de curvatura 715 puede ser al menos aproximadamente 1/8", al menos aproximadamente 1/4", al menos aproximadamente 1/2", al menos aproximadamente 5/8", al menos aproximadamente 3/4", al menos aproximadamente 1", y así sucesivamente (por ejemplo, el radio de curvatura 715 puede ser igual a aproximadamente 1/4"). Tales radios de curvatura pueden ser convenientes independientemente del tamaño real de la sonda (por ejemplo, varios diámetros de sonda).

Las figuras 1A-1B ilustran una sonda ultrasónica 110 que puede usarse en cualquiera de los dispositivos ultrasónicos de las figuras 3-6. Como se ilustra, la sonda ultrasónica 110 se muestra como una sola pieza (parte unitaria), pero puede comprender un eje de sonda ultrasónica y una punta de sonda ultrasónica opcional (y reemplazable), como se describe anteriormente para la figura 3, en ciertas realizaciones. Además, la sonda ultrasónica 110 se muestra como una sonda alargada (por ejemplo, generalmente cilíndrica), pero no se limita a esta forma geométrica.

La sonda ultrasónica 110 puede estar construida de varios materiales, como se discute en la presente memoria, que incluyen, pero no se limitan a, acero inoxidable, titanio, niobio, cerámica y similares, o combinaciones de los mismos, incluidas sus mezclas, sus aleaciones y sus revestimientos. En ciertas realizaciones, la sonda ultrasónica 110 puede ser o puede comprender un material cerámico. Por ejemplo, la sonda ultrasónica 110 puede ser o puede comprender un Sialon, un carburo de silicio, un carburo de boro, un nitruro de boro, un nitruro de silicio, un nitruro de aluminio, un óxido de aluminio, una circonita o una combinación de los mismos; alternativamente, un Sialon (por ejemplo, cualquier Sialon descrito en esta memoria); alternativamente, un carburo de silicio; alternativamente, un carburo de boro; alternativamente, un nitruro de boro; alternativamente, un nitruro de silicio; alternativamente, un nitruro de aluminio; alternativamente, un óxido de aluminio; o alternativamente, una circonita.

La sonda ultrasónica 110 comprende una pluralidad de canales de gas 124 que se extienden a lo largo de la sonda, con salidas de gas asociadas 125 en la punta de la sonda. En las figuras 1A-1B, se muestra una sonda 110 con tres canales de gas 124; sin embargo, la sonda puede tener dos canales de gas, o cuatro o más canales de gas, en otras realizaciones. Además, los canales de gas pueden colocarse en cualquier lugar dentro del interior de la sonda. Las figuras 1A-1B muestran los tres canales de gas 124 posicionados aproximadamente a la mitad del centro de la superficie exterior de la sonda, y dispuestos aproximadamente a 120°. Se puede suministrar un gas de purga a través de los canales de gas 124 y expulsarlo a las salidas de gas 125 en la punta de la sonda ultrasónica 110. En algunas realizaciones, la relación del área de la sección transversal de la sonda ultrasónica 110 con el área de sección transversal total de los tres canales de gas 124 (por ejemplo, en cualquier lugar dentro de la longitud de la sonda, o en las salidas de gas 125) puede estar en un intervalo de aproximadamente 30: 1 a aproximadamente 1000: 1, de aproximadamente 60: 1 a aproximadamente 1000: 1, o de aproximadamente 60: 1 a aproximadamente 750: 1. En otras realizaciones, la relación del área de la sección transversal de la sonda ultrasónica 110 con el área de la sección transversal total de los tres canales de gas 124 puede estar en un intervalo de aproximadamente 20: 1 a aproximadamente 250: 1, de aproximadamente 20: 1 a aproximadamente 175: 1, de aproximadamente 30: 1 a aproximadamente 200: 1, de aproximadamente 30: 1 a aproximadamente 175: 1, de aproximadamente 60: 1 a aproximadamente 700: 1, de aproximadamente 100: 1 a aproximadamente 700: 1, de aproximadamente 50: 1 a aproximadamente 500: 1, o de aproximadamente 200: 1 a aproximadamente 1000: 1. En estas y otras realizaciones, la relación longitud/diámetro (L/D) de la sonda ultrasónica 110 puede estar en un intervalo de aproximadamente 5: 1 a aproximadamente 25: 1, de aproximadamente 5: 1 a aproximadamente 15: 1, de aproximadamente 5: 1 a aproximadamente 12: 1, de aproximadamente 7: 1 a aproximadamente 22: 1, de aproximadamente 7: 1 a aproximadamente 14: 1, de aproximadamente 10: 1 a aproximadamente 20: 1, o de aproximadamente 11: 1 a aproximadamente 18: 1.

La sonda ultrasónica 110 se puede asegurar a un dispositivo ultrasónico mediante el uso de cualquier método adecuado conocido por los expertos en la técnica, por ejemplo, mediante el uso de una tuerca de fijación como se describe en esta memoria. En ciertas realizaciones, la sonda 110 puede tener un gran radio de curvatura 115 en el lado de unión de la sonda, lo que puede reducir la rotura de la sonda y aumentar la vida útil de la sonda. En realizaciones particulares contempladas en esta memoria, el radio de curvatura 115 puede ser al menos aproximadamente 1/8", al menos aproximadamente 1/4", al menos aproximadamente 1/2", al menos aproximadamente 5/8", al menos aproximadamente 3/4", al menos aproximadamente 1", y así sucesivamente (por ejemplo, el radio de curvatura 115 puede ser igual a aproximadamente 1/4"). Tales radios de curvatura pueden ser convenientes independientemente del tamaño real de la sonda (por ejemplo, varios diámetros de sonda).

En la figura 1C se ilustra un dispositivo ultrasónico 100 con un transductor ultrasónico 160, un refuerzo 150 para aumentar la salida y una sonda ultrasónica 110 (descrita anteriormente) conectada al refuerzo 150 y al transductor

160. El refuerzo 150 puede estar en comunicación con el transductor 160, y puede permitir un aumento de la producción a niveles de impulso superiores a aproximadamente 1: 1, por ejemplo, de aproximadamente 1.2: 1 a aproximadamente 10: 1, o de aproximadamente 1.4: 1 a aproximadamente 5: 1. En algunas realizaciones, el refuerzo puede ser o puede comprender un metal, tal como el titanio. El dispositivo ultrasónico 100 puede comprender una entrada de gas (se muestran dos entradas de gas 122 en la figura 1C) que alimenta una línea de flujo de gas que termina en el extremo del refuerzo. La sonda 110 se puede asegurar al refuerzo 150 con una tuerca de fijación 103. Se muestra un único canal de suministro de gas 124 en la figura 1C, con una salida de gas 125 en la punta de la sonda. Otros dos canales de suministro de gas están presentes en la sonda, pero no se muestran en la vista en sección transversal de la figura 1C.

La figura 1D es una vista en primer plano de partes del dispositivo ultrasónico y la sonda de las figuras 1A-1C, que ilustra la interfaz entre el refuerzo 150 y la sonda 110, asegurada con la tuerca de fijación 103. Se puede usar una sola entrada de gas (o línea de flujo de gas) para cada canal de suministro de gas 124 en la sonda 110, o alternativamente, se puede usar una sola entrada de gas, y el flujo se puede dividir en el refuerzo para formar tres rutas de flujo que se conectan a los respectivos canales de suministro de gas en la sonda. Otra opción se demuestra en la figura 1D, donde una entrada de gas 122 (o línea de flujo de gas) termina en una cámara de gas empotrada 118 en el extremo del refuerzo 150, el gas de purga dispuesto entre (y limitado por) el refuerzo 150 y la sonda 110, y la cámara de gas empotrada 118 puede ser estanca al gas o a prueba de fugas. La cámara de gas empotrada 118 puede configurarse para dirigir el flujo de gas de purga desde el refuerzo 150 a los tres canales de suministro de gas 124 en la sonda 110. La cámara de gas empotrada 118 puede ser de cualquier geometría adecuada, pero se ilustra como una forma parabólica (por ejemplo, como una lente de contacto) en la figura 1D.

Las figuras 2A-2B ilustran una sonda ultrasónica 210 según un diseño alternativo, que no forma parte de la invención reivindicada, que puede usarse en cualquiera de los dispositivos ultrasónicos de las figuras 3-6. Como se ilustra, la sonda ultrasónica 210 se muestra como una sola pieza (parte unitaria), pero puede comprender un eje de sonda ultrasónica y una punta de sonda ultrasónica opcional (y reemplazable), como se describe anteriormente para la figura 3, en ciertas realizaciones. Además, la sonda ultrasónica 210 se muestra como una sonda alargada (por ejemplo, generalmente cilíndrica), pero no se limita a esta forma geométrica.

La sonda ultrasónica 210 puede estar construida de varios materiales, como se discute en la presente memoria, que incluyen, pero no se limitan a, acero inoxidable, titanio, niobio, cerámica y similares, o combinaciones de los mismos, incluidas sus mezclas, aleaciones y revestimientos de los mismos. En ciertas realizaciones, la sonda ultrasónica 210 puede ser o puede comprender un material cerámico. Por ejemplo, la sonda ultrasónica 210 puede ser o puede comprender un Sialon, un carburo de silicio, un carburo de boro, un nitruro de boro, un nitruro de silicio, un nitruro de aluminio, un óxido de aluminio, una circona o una combinación de los mismos; alternativamente, un Sialon (por ejemplo, cualquier Sialon descrito en esta memoria); alternativamente, un carburo de silicio; alternativamente, un carburo de boro; alternativamente, un nitruro de boro; alternativamente, un nitruro de silicio; alternativamente, un nitruro de aluminio; alternativamente, un óxido de aluminio; o alternativamente, una circona.

La sonda ultrasónica 210 puede comprender un canal de gas 224 en el centro de la sonda y que se extiende a lo largo de toda la sonda, con una salida de gas 225 en la punta de la sonda. La sonda 210 también puede contener una pluralidad de áreas empotradas 235 cerca de la punta de la sonda. En las figuras 2A-2B, se muestra una sonda 210 con tres áreas empotradas 235, sin embargo, la sonda puede tener solo una o dos áreas empotradas, o cuatro o más áreas empotradas, en otras realizaciones. Además, las áreas empotradas no están limitadas a ninguna profundidad y/o ancho particular. Las figuras 2A-2B muestran áreas empotradas 235 que tienen un diámetro de aproximadamente el 75-85% del diámetro de la sonda ultrasónica 210, y una longitud total de las tres áreas empotradas de tal manera que la relación de longitud de la sonda 210 a la longitud total del tres áreas empotradas 235 pueden estar en un intervalo de aproximadamente 10: 1 a aproximadamente 100: 1, o de aproximadamente 15: 1 a aproximadamente 80: 1.

La sonda ultrasónica 210 también contiene cuatro salidas de gas 225 en el área empotrada 235 más cercana a la punta de la sonda. Una de estas salidas de gas se muestra en la figura 2A; las otras tres están ubicadas a 90° alrededor de la circunferencia de la sonda. Se puede suministrar un gas de purga a través del canal de gas 224 y expulsarlo a las salidas de gas 225 en el área empotrada y en la punta de la sonda ultrasónica 210. En algunas realizaciones, la relación del área de la sección transversal de la sonda ultrasónica 210 con el área de la sección transversal total del canal de gas 224 en las salidas de gas 225 (es decir, en las cinco salidas de gas) puede estar en un intervalo de aproximadamente 30: 1 a aproximadamente 1000: 1, de aproximadamente 60: 1 a aproximadamente 1000: 1, o de aproximadamente 60: 1 a aproximadamente 750: 1. En otras realizaciones, la relación del área de la sección transversal de la sonda ultrasónica 210 con el área de la sección transversal total de los canales de gas en las salidas de gas puede estar en un intervalo de aproximadamente 20: 1 a aproximadamente 250: 1, de aproximadamente 20: 1 a aproximadamente 175: 1, de aproximadamente 30: 1 a aproximadamente 200: 1, de aproximadamente 30: 1 a aproximadamente 175: 1, de aproximadamente 60: 1 a aproximadamente 700: 1, de aproximadamente 100: 1 a aproximadamente 700: 1, de aproximadamente 50: 1 a aproximadamente 500: 1, o de aproximadamente 200: 1 a aproximadamente 1000: 1. En estas y otras realizaciones, la relación de longitud/diámetro (L/D) de la sonda ultrasónica 210 puede estar en un intervalo de aproximadamente 5: 1 a aproximadamente 25: 1, de aproximadamente 5: 1 a aproximadamente 15: 1, de aproximadamente 5: 1 a aproximadamente 12: 1, de aproximadamente 7: 1 a aproximadamente 22: 1, de aproximadamente 7: 1 a aproximadamente 14: 1, de aproximadamente 10: 1 a

aproximadamente 20: 1, o de aproximadamente 11: 1 a aproximadamente 18: 1.

La sonda ultrasónica 210 se puede asegurar a un dispositivo ultrasónico mediante el uso de cualquier método adecuado conocido por los expertos en la técnica, por ejemplo, mediante el uso de una tuerca de fijación como se describe en esta memoria. En ciertas realizaciones, la sonda 210 puede tener un gran radio de curvatura 215 en el lado de unión de la sonda, lo que puede reducir la rotura de la sonda y aumentar la vida útil de la sonda. En realizaciones particulares contempladas en esta memoria, el radio de curvatura 215 puede ser al menos aproximadamente 1/8", al menos aproximadamente 1/4", al menos aproximadamente 1/2", al menos aproximadamente 5/8", al menos aproximadamente 3/4", al menos aproximadamente 1", y así sucesivamente (por ejemplo, el radio de curvatura 215 puede ser igual a aproximadamente 1/4"). Tales radios de curvatura pueden ser convenientes independientemente del tamaño real de la sonda (por ejemplo, varios diámetros de sonda).

Aunque se han descrito ciertas realizaciones de la invención, pueden existir otras realizaciones. Además, las etapas de cualquier método descrito pueden modificarse de cualquier manera, incluso reordenando etapas y/o insertando o eliminando etapas, sin salirse de la invención. Aunque la especificación incluye ejemplos, el alcance de la invención está indicado por las siguientes reivindicaciones. Además, aunque la especificación se ha descrito en un lenguaje específico para características estructurales y/o actos metodológicos, las reivindicaciones no se limitan a las características o actos descritos anteriormente. Más bien, las características y los actos específicos descritos anteriormente se describen como realizaciones ilustrativas de la invención.

Ejemplos

Ejemplos 1-4

En los Ejemplos 1-4, se realizaron una serie de pruebas para determinar la velocidad relativa a la que se puede desgasificar el hidrógeno disuelto en un baño fundido de aluminio de acuerdo con los métodos descritos. Primero, se fundió una pequeña cantidad de aluminio en un baño de metal y, a continuación, se mantuvo a una temperatura de aproximadamente 1350°F (732°C). Se utilizó una unidad Alspek para determinar una lectura de referencia del contenido de hidrógeno, en unidades de ml/100 g. La unidad Alspek utiliza el principio de presiones parciales en una media celda electrolítica para determinar la cantidad de hidrógeno disuelto en aluminio fundido. La punta de un dispositivo ultrasónico se colocó en el baño de aluminio y el argón de gas de purga se añadió al baño de metal fundido a una velocidad de aproximadamente 1 litro estándar por minuto (L/min). Para los Ejemplos 1-4, el dispositivo ultrasónico se hizo funcionar con un refuerzo 3: 1 y a 20.000 Hz, aunque se podrían usar hasta 40.000 Hz, o más. Para el Ejemplo 1, se usó una amplitud de vibración ultrasónica de referencia y un nivel de potencia de referencia para la fuente de alimentación ultrasónica (vatios); para el Ejemplo 2, la amplitud de la vibración ultrasónica fue 2 veces la línea de base, y el nivel de potencia de la fuente de alimentación ultrasónica fue 1,9 veces la línea de base; y para el Ejemplo 3, la amplitud de la vibración ultrasónica fue 3 veces la línea de base, y el nivel de potencia de la fuente de alimentación ultrasónica fue 3,6 veces la línea de base. Para el ejemplo 4, no se usó el dispositivo ultrasónico, solo la adición del gas de purga de argón. El nivel de hidrógeno se controló a lo largo del tiempo usando la unidad Alspek, y se registró. Entre cada experimento, se añadió hidrógeno al baño de aluminio y se determinó la línea de base antes de la adición del gas argón.

Un dispositivo ultrasónico similar al ilustrado en la figura 5 se usó en los Ejemplos 1-3. El dispositivo ultrasónico no tenía un conjunto de refrigeración, y el gas de purga se inyectó a través de la punta de la sonda ultrasónica. La sonda ultrasónica tenía 1" (2,5 cm) de diámetro, y tanto la sonda como la punta (como una pieza única) estaban construidas de una aleación de niobio que contenía hafnio y titanio.

La figura 8 ilustra un gráfico de la concentración de hidrógeno en ml de hidrógeno por 100 g de la aleación de aluminio en función del tiempo después de la adición del gas de purga de argón (y la activación del dispositivo ultrasónico, si se utiliza). La figura 8 muestra cada uno de los hidrógenos desgasificados de los Ejemplos 1-3 de aluminio significativamente más rápido (mediante el uso de un gas de purga y un dispositivo ultrasónico) que el del Ejemplo 4, que solo usaba un gas de purga, pero no un dispositivo ultrasónico. Los ejemplos 2-3 tuvieron un rendimiento ligeramente mejor que el ejemplo 1, que utilizó una amplitud de vibración ultrasónica más baja y un nivel de potencia de referencia más bajo para la fuente de alimentación ultrasónica.

Ejemplos 5-6

Los ejemplos 5-6 fueron ensayos a gran escala para determinar la efectividad del uso de un gas de purga y un dispositivo ultrasónico para eliminar las impurezas de hidrógeno y litio/sodio en un experimento de colada continua mediante el uso de la aleación de aluminio 5154 (que contiene magnesio). La temperatura del baño de metal se mantuvo a una temperatura de aproximadamente 1350°F (732°C).

Las concentraciones de sodio y litio en porcentaje en peso se determinaron mediante el uso de un espectrómetro, y las concentraciones de hidrógeno se determinaron mediante el uso de un analizador de hidrógeno Alscan para aluminio fundido. El ejemplo 5 fue un experimento de control, y las concentraciones de sodio y litio predominantes en la aleación de aluminio fundido del ejemplo 5 fueron de un 0,00083% (8,3 ppm) y 0,00036% (3,6 ppm), respectivamente. La concentración de hidrógeno en el Ejemplo 5 fue de 0,41 ml/100 g.

El dispositivo ultrasónico de los Ejemplos 1-4 se utilizó en el Ejemplo 6 y funcionó a 20.000 Hz. Junto con la operación del dispositivo ultrasónico, en el Ejemplo 6, se añadió gas de argón al baño de metal fundido a un caudal volumétrico de aproximadamente 80-85 ml/h por kg/h de salida de metal fundido (es decir, 80-85 ml de gas de purga/kg de metal fundido). Después del uso del dispositivo ultrasónico y el gas de purga de argón, la concentración de sodio en la aleación de aluminio fundido estaba por debajo del límite mínimo de detección de 0,0001% (1 ppm en peso), y la concentración de litio en la aleación de aluminio fundido era de un 0,0003% (3 ppm en peso). La concentración de hidrógeno en el Ejemplo 6 fue de 0,35 ml/100 g, una reducción de aproximadamente el 15%.

Ejemplo 7

En el Ejemplo 7, se realizó una prueba para determinar la vida útil o la longevidad de un dispositivo ultrasónico con una sonda Sialon unitaria, similar a la ilustrada en la figura 6, operado en una colada que contiene aluminio fundido a aproximadamente 1300°F (700°C).

El dispositivo ultrasónico y la sonda fueron operados continuamente, excepto por un cese de mantenimiento de 3 horas no relacionado con el dispositivo ultrasónico. La sonda alargada tenía un diámetro de 3/4", estaba hecha de Sialon y funcionaba a aproximadamente 20 kHz (19,97 kHz). Los niveles de potencia estaban entre 60 y 90 vatios. Mediante el uso de un medidor digital, se midió la longitud de la sonda antes y después del uso. La punta de la sonda se sumergió durante aproximadamente 50 horas en la colada que contenía el aluminio fundido mientras el dispositivo ultrasónico funcionaba a aproximadamente 20 KHz. No se usó gas de purga durante este experimento, ya que se consideró innecesario para el propósito de esta prueba. Después del tiempo de ejecución de 50 horas, se midió que la erosión de la sonda era de 0,0182". Esto se convierte en una tasa de erosión de 3.64×10^{-4} en/hora. En general, una sonda ultrasónica puede soportar hasta aproximadamente 1/4" de erosión antes de que se considere no apta para su uso. Esto lleva a una vida útil teórica de más de 686 horas, o más de 28 días, de operación continua para la sonda de cerámica del Ejemplo 7.

Esta vida útil de la sonda es muy superior a la de otras sondas ultrasónicas metálicas y cerámicas no diseñadas, configuradas o construidas como se describe en esta memoria.

Ejemplos 8-11

Los ejemplos 8-11 se realizaron de manera similar a los ejemplos 5-6. La Tabla 1 resume los resultados de los experimentos de desgasificación mediante el uso de sondas Sialon que tienen el diseño de las figuras 7A-7B (Ejemplo 8), el diseño de las figuras 2A-2B (Ejemplo 9), y el diseño de las figuras 1A-1D (Ejemplo 10 y Ejemplo 11). La Tabla 1 también enumera la velocidad de flujo de N_2 , la potencia del dispositivo ultrasónico y la reducción del contenido de H_2 del metal en el baño de metal fundido. Los resultados en la Tabla 1 indican que cada uno de los diseños de las sondas logró reducir significativamente la cantidad de gas H_2 en el baño de metal fundido, con los ejemplos 9-11 y sus respectivos diseños de sonda que proporcionan una mayor reducción en el contenido de H_2 . Aunque no desea estar limitado por la teoría, el diseño de las figuras 2A-2B (Ejemplo 9) puede proporcionar una eficiencia de cavitación mejorada debido a las regiones empotradas. En cuanto al diseño de las figuras 1A-1D (Ejemplo 10 y Ejemplo 11), y no deseando estar limitado por la teoría, el diseño de múltiples canales de gas puede proporcionar un aumento en el flujo total de gas (15-20 L/min en 3 canales vs. 5 L/min en un canal), mientras que el uso de una velocidad de gas equivalente de 15-20 L/min que sale de la sonda en un solo canal puede ser demasiado alta para ciertas aplicaciones de metal fundido, efectivamente "soplado" el metal lejos de la sonda.

Tabla 1. Resumen de los ejemplos 8-11.

Numero de ejemplo	Diámetro de la sonda (pulgadas) [cm]	Diseño de sonda	Flujo de gas (L/min)	Potencia (vatios)	Reducción en H_2 (%)
8	0,75 [1,91]	Figuras 7A-7B	5	80	42,8%
9	0,75 [1,91]	Figuras 2A-2B	7	125	76,0%
10	0,875 [2,22]	Figuras 1A-1D	15	100	57,3%
11	0,875 [2,22]	Figuras 1A-1D	20	100	74,5%

Ejemplos 12-24

Los ejemplos 12-24 se realizaron de manera similar a los ejemplos 5-6. La Tabla 2 resume los resultados de los experimentos de desgasificación mediante el uso de sondas Sialon que tienen el diseño de las figuras 7A-7B (Ejemplos 12-19) y el diseño de las figuras 1A-1D (Ejemplos 20-24). La Tabla 2 también enumera la velocidad de flujo de N_2 , la potencia del dispositivo ultrasónico y el contenido de sodio (Na) antes y después de desgasificar el metal en el baño de metal fundido. Los resultados en la Tabla 2 indican que cada uno de los diseños de sonda tuvo éxito en la reducción de forma significativa del nivel de impurezas de sodio. Sin embargo, e inesperadamente, con los Ejemplos 20-24 y el diseño de sonda respectivo de las figuras 1A-1D, el sodio se eliminó a niveles indetectables (mostrados como cero en

la Tabla 2, y menos de 1 ppm en peso). Aunque no desea estar limitado por la teoría, el diseño mejorado de las figuras 1A-1D (Ejemplos 20-24) puede proporcionar un aumento en las burbujas de cavitación para recoger y eliminar la impureza de sodio, pero sin disminuir la eficiencia de la vibración ultrasónica y la eficiencia de la cavitación.

Tabla 2. Resumen de los ejemplos 12-24.

Numero de ejemplo	Sodio antes (ppm)	Sodio después (ppm)	Diámetro de la sonda (pulgadas) [cm]	Diseño de sonda	Flujo de gas (L/min)	Potencia (vatios)
12	7	6	0,75 [1,91]	Figuras 7A-7B	5	80
13	5	3				
14	2	2				
15	1	1				
16	4	2				
17	8	3				
18	7	2				
19	4	2				
20	3	0	0,875 [2,22]	Figuras 1A-1D	20	100
21	5	0				
22	3	0				
23	6	0				
24	3	0				

5 Ejemplos 25-27

Los ejemplos 25-27 se realizaron de manera similar a los ejemplos 20-24, mediante el uso de una sonda Sialon de 2,22 cm (0,875 pulgadas) de diámetro que tiene el diseño de las figuras 1A-1D, y funciona a 100 vatios y un flujo de gas de argón de 20 L/min. La sorprendente capacidad del dispositivo ultrasónico con el diseño de sonda de las figuras 1A-1D para reducir significativamente la concentración de inclusión en productos de metal fundido se evaluó utilizando tres aleaciones metálicas diferentes (5052, 6201 y 4047).

La cantidad de inclusiones (mm^2/kg) antes y la cantidad de inclusiones después de la desgasificación ultrasónica se determinaron extrayendo muestras respectivas del metal fundido a través de un pequeño filtro al vacío. La cantidad de metal extraído a través del filtro se pesó y se desechó. El metal en el filtro se dejó solidificar. A continuación, se cortó el filtro de la muestra restante y se envió a un laboratorio ABB para el análisis metalúrgico de PoDFA para determinar la cantidad de inclusiones.

La Tabla 3 resume el % de reducción en las inclusiones totales (o concentración de inclusión) como resultado del proceso de desgasificación ultrasónica. Inesperadamente, los experimentos de desgasificación ultrasónica de los Ejemplos 25-27 fueron capaces de eliminar al menos el 55% de las inclusiones, y en el Ejemplo 25, se eliminaron más del 98% de las inclusiones.

Tabla 3. Resumen de los ejemplos 25-27.

Número de ejemplo	Aleación	Reducción en inclusiones totales (%)
25	5052	98,4%
26	6201	80,2%
27	4047	55,6%

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo ultrasónico (100) que comprende:
un transductor ultrasónico (160);
una sonda ultrasónica (110) unida al transductor, comprendiendo la sonda una punta y dos o más canales de suministro de gas (124) que se extienden a través de la sonda; y
un sistema de suministro de gas, comprendiendo el sistema de suministro de gas:
una entrada de gas (122),
rutas de flujo de gas a través de los canales de suministro de gas (124), y
salidas de gas (125) en o dentro de aproximadamente 5 cm de la punta de la sonda.
2. El dispositivo ultrasónico (100) de la reivindicación 1, en donde la sonda (110) comprende acero inoxidable, titanio, niobio, una cerámica o una combinación de los mismos.
3. El dispositivo ultrasónico (100) de la reivindicación 1, en donde la sonda (110) comprende un Sialon, un carburo de silicio, un carburo de boro, un nitruro de boro, un nitruro de silicio, un nitruro de aluminio, un óxido de aluminio, una circonita o una combinación de esto.
4. El dispositivo ultrasónico (100) de la reivindicación 1, en donde:
la sonda (110) comprende un Sialon;
la sonda comprende de tres a cinco canales de suministro de gas (124); y
las salidas de gas (125) están en la punta de la sonda.
5. El dispositivo ultrasónico (100) de la reivindicación 1, en donde la sonda (110) es una sonda alargada generalmente cilíndrica, y una relación de longitud a diámetro de la sonda alargada está en un intervalo de aproximadamente 5: 1 a aproximadamente 25: 1.
6. El dispositivo ultrasónico (100) de la reivindicación 1, en donde la sonda (110) es una sonda alargada generalmente cilíndrica, y una relación del área de la sección transversal de la punta de la sonda alargada con el área de la sección transversal de los canales de suministro de gas (124) está en un intervalo de aproximadamente 30: 1 a aproximadamente 1000: 1.
7. El dispositivo ultrasónico (100) de la reivindicación 1, en donde el dispositivo ultrasónico comprende además un refuerzo (150) entre el transductor (160) y la sonda (110), y la entrada de gas (122) está en el refuerzo.
8. El dispositivo ultrasónico (100) de la reivindicación 7, en donde una cámara de gas empotrada (118) en un extremo del refuerzo (150) se conecta a la entrada de gas (122), la cámara de gas empotrada configurada para dirigir el flujo de gas a los canales de suministro de gas (124).
9. El dispositivo ultrasónico (100) de la reivindicación 1, en donde el dispositivo ultrasónico comprende de dos a ocho sondas ultrasónicas (110).
10. Un método para reducir una cantidad de un gas disuelto y/o una impureza en un baño de metal fundido, comprendiendo el método:
(a) operar el dispositivo ultrasónico (100) de la reivindicación 1 en el baño de metal fundido; e
(b) introducir un gas de purga en el sistema de suministro de gas, a través de los canales de suministro de gas, y en el baño de metal fundido a una velocidad para cada sonda ultrasónica en un intervalo de aproximadamente 0,1 a aproximadamente 150 l/min.
11. El método de la reivindicación 10, en donde:
el gas disuelto comprende oxígeno, hidrógeno, SO₂, o una combinación de los mismos;
la impureza comprende un metal alcalino;
el baño de metal fundido comprende aluminio, cobre, zinc, acero, magnesio o una combinación de los mismos;
el gas de purga comprende nitrógeno, helio, neón, argón, criptón, xenón, SF₆, cloro o una combinación de los mismos;

cualquier combinación de los mismos.

12. El método de la reivindicación 10, en donde:

el gas de purga se introduce en el baño de metal fundido a una velocidad para cada sonda ultrasónica en un intervalo de aproximadamente 1 a aproximadamente 50 L/min;

5 el gas disuelto comprende hidrógeno;

el baño de metal fundido comprende aluminio, cobre o una combinación de los mismos;

el gas de purga comprende argón, nitrógeno o una combinación de los mismos; o

cualquier combinación de los mismos.

13. El método de la reivindicación 10, en donde:

10 la impureza comprende sodio, y la cantidad de sodio en el baño de metal fundido se reduce a menos de 1 ppm; y/o
una cantidad de inclusiones totales en el baño de metal fundido se reduce en al menos aproximadamente un 50%.

14. El método de la reivindicación 10, en donde el método comprende operar de dos a dieciséis dispositivos ultrasónicos en el baño de metal fundido.

15. El dispositivo ultrasónico (100) de la reivindicación 1, en donde:

15 la sonda (110) comprende una cerámica; y

las salidas de gas (125) están a unos 2 cm de la punta de la sonda.

16. El dispositivo ultrasónico (100) de la reivindicación 1, en donde:

la sonda (110) comprende una cerámica; y

las salidas de gas (125) están en la punta de la sonda.

20 17. El dispositivo ultrasónico (100) de la reivindicación 7, en donde:

la sonda (110) comprende una cerámica; y

las salidas de gas (125) se encuentran a o dentro de aproximadamente 2 cm de la punta de la sonda.

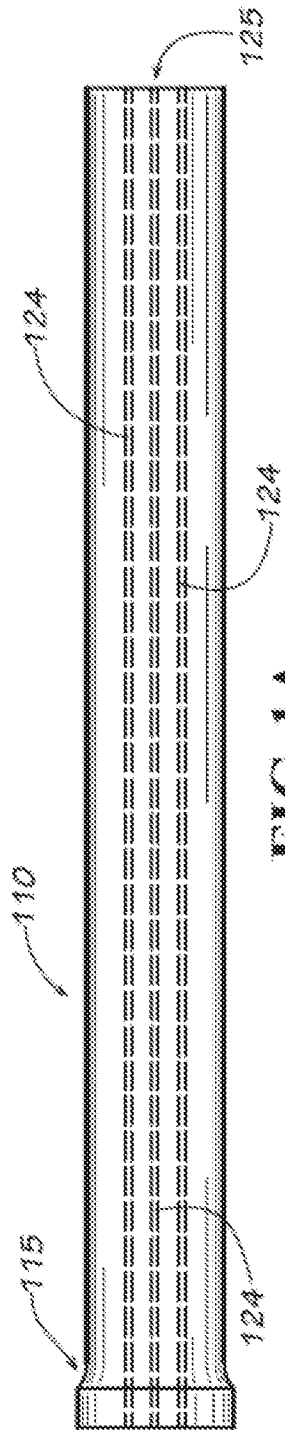


FIG. 1A

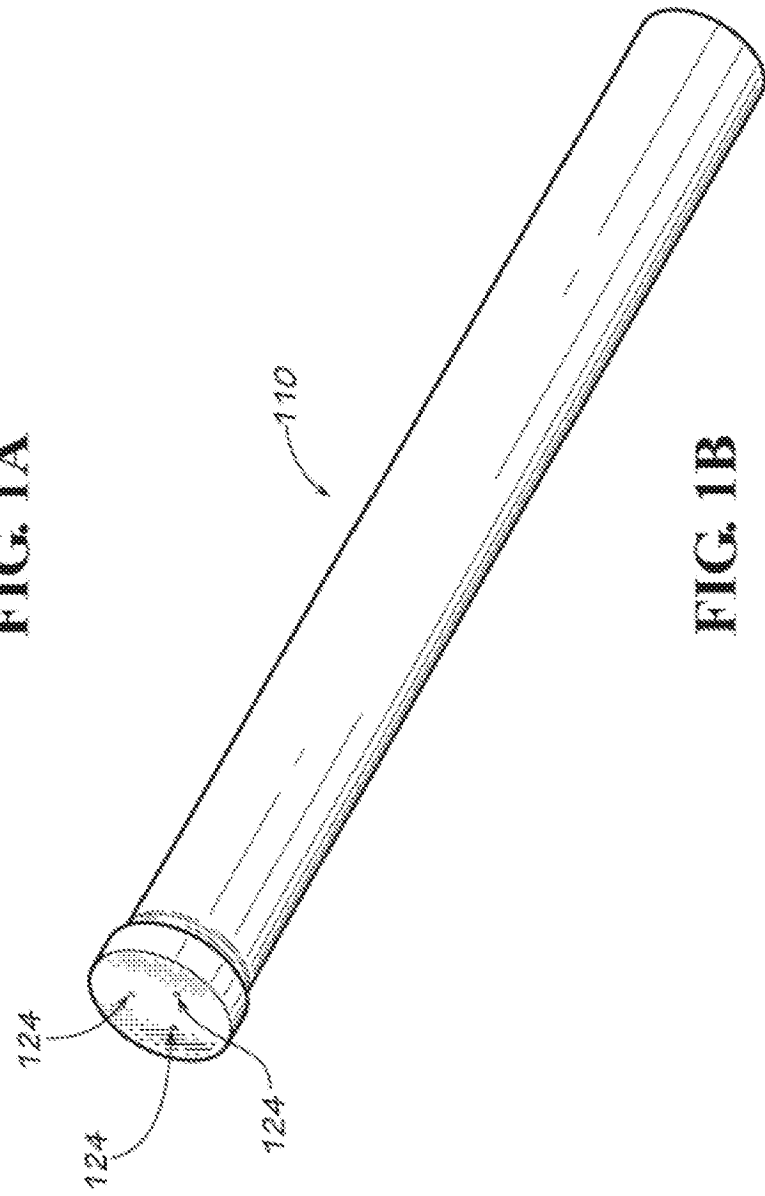
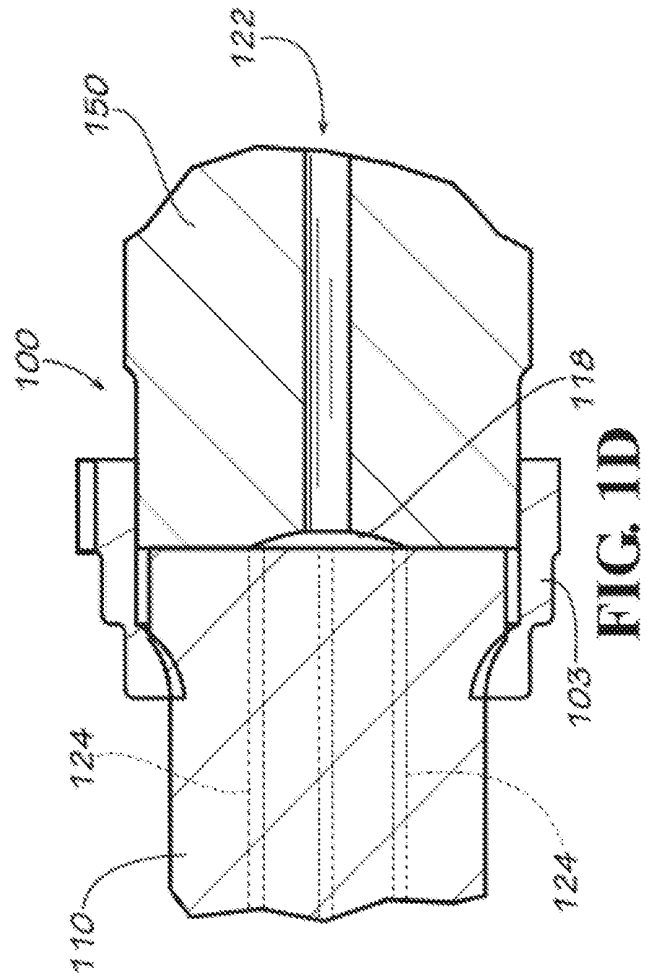
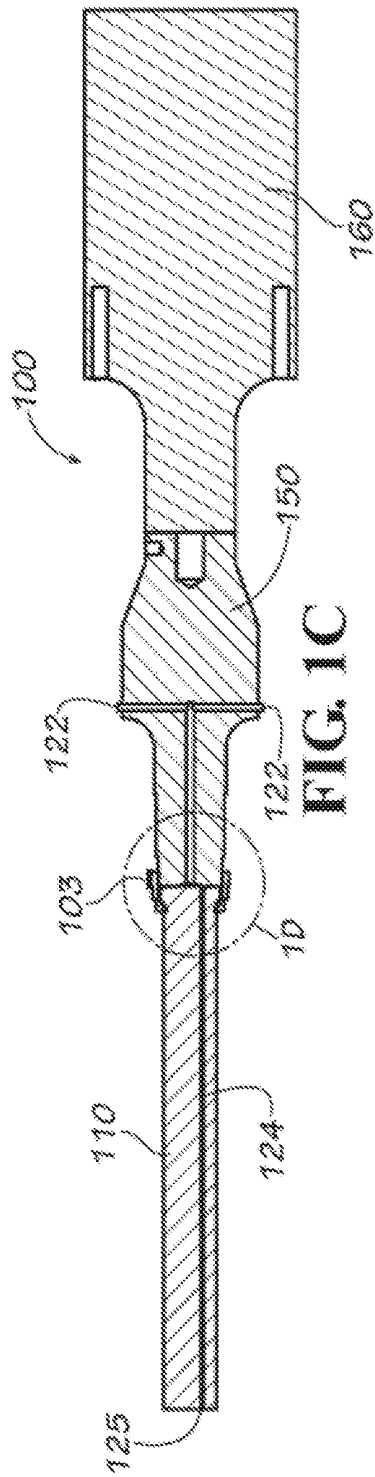
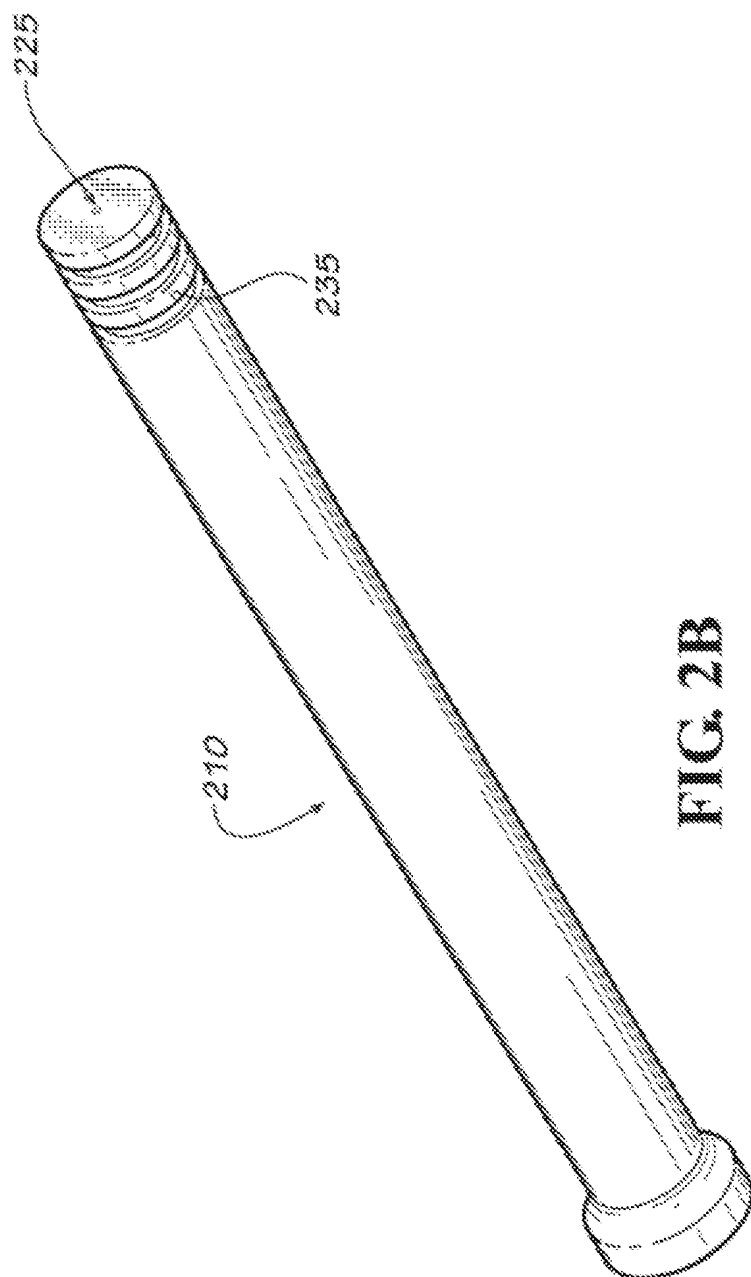
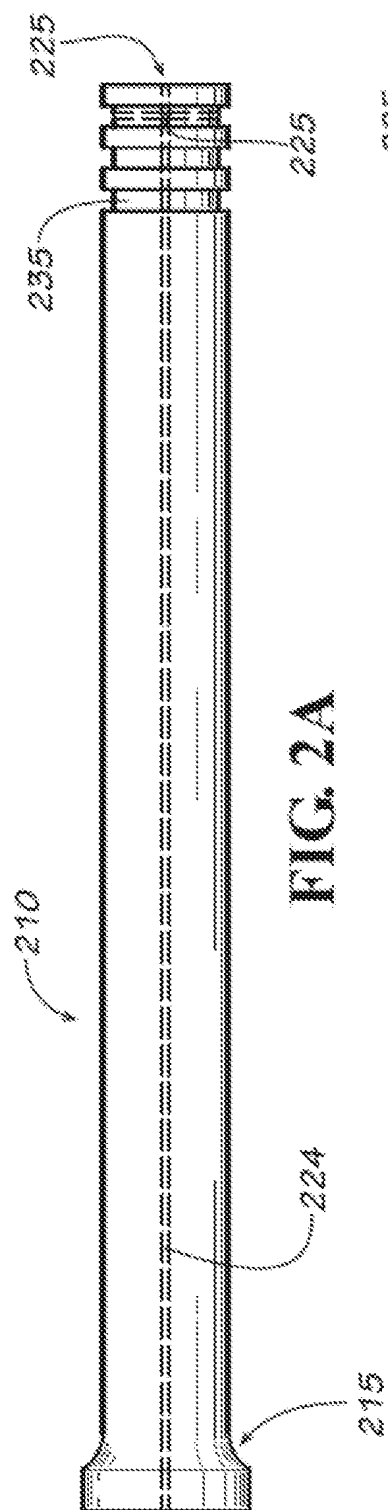


FIG. 1B





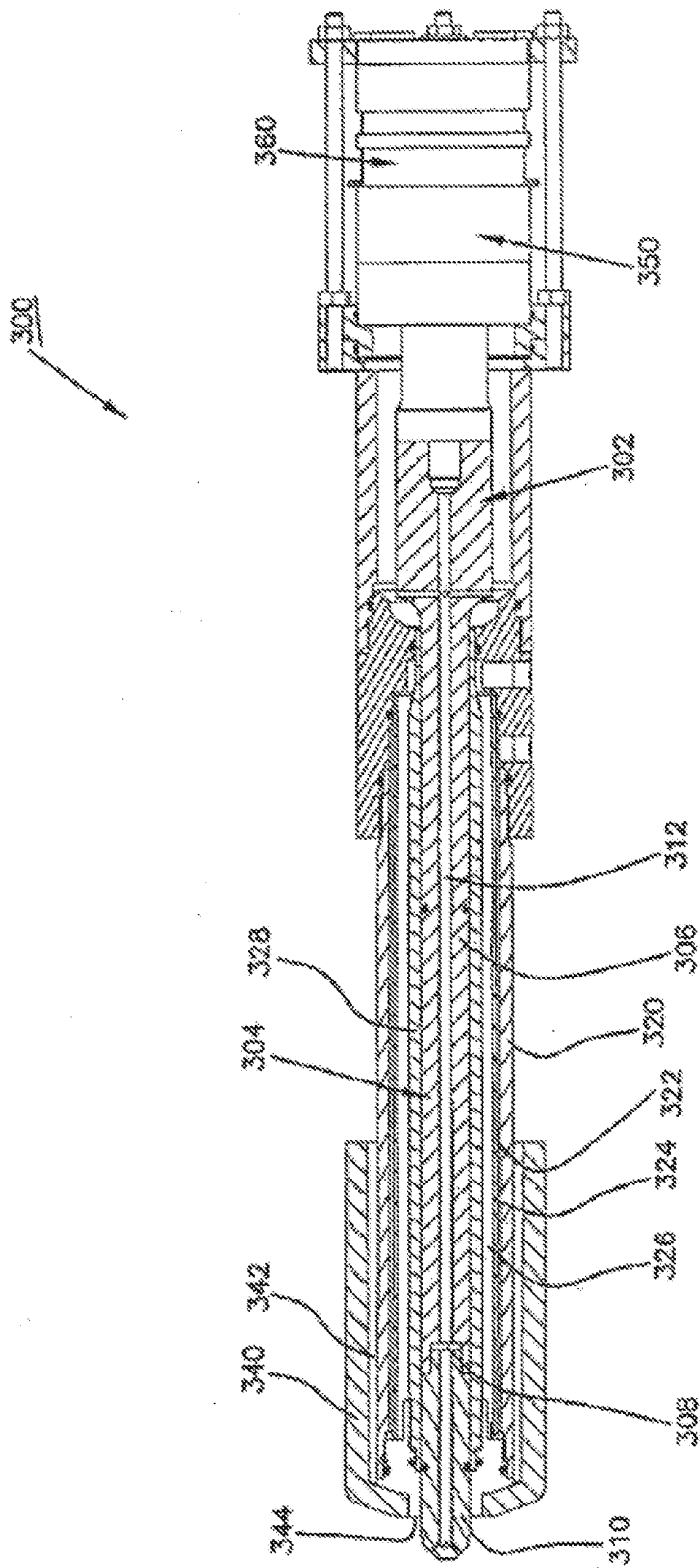


FIG. 3

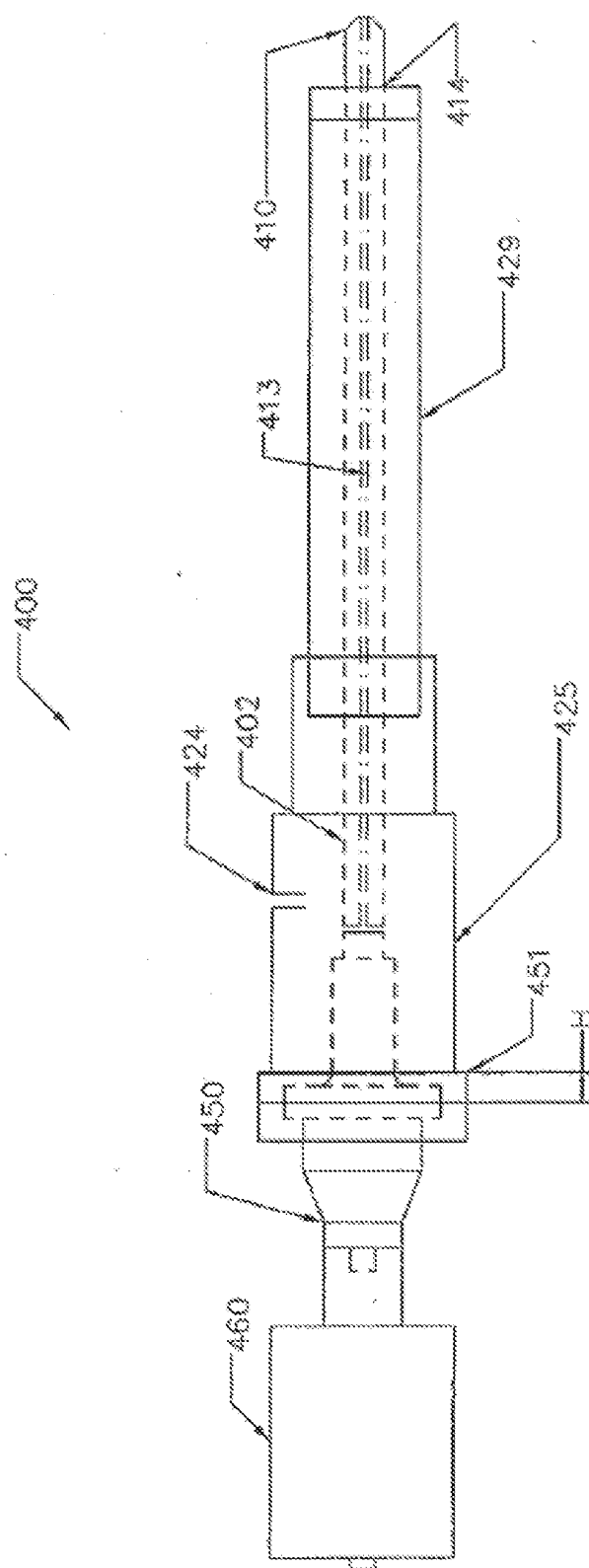


FIG. 4

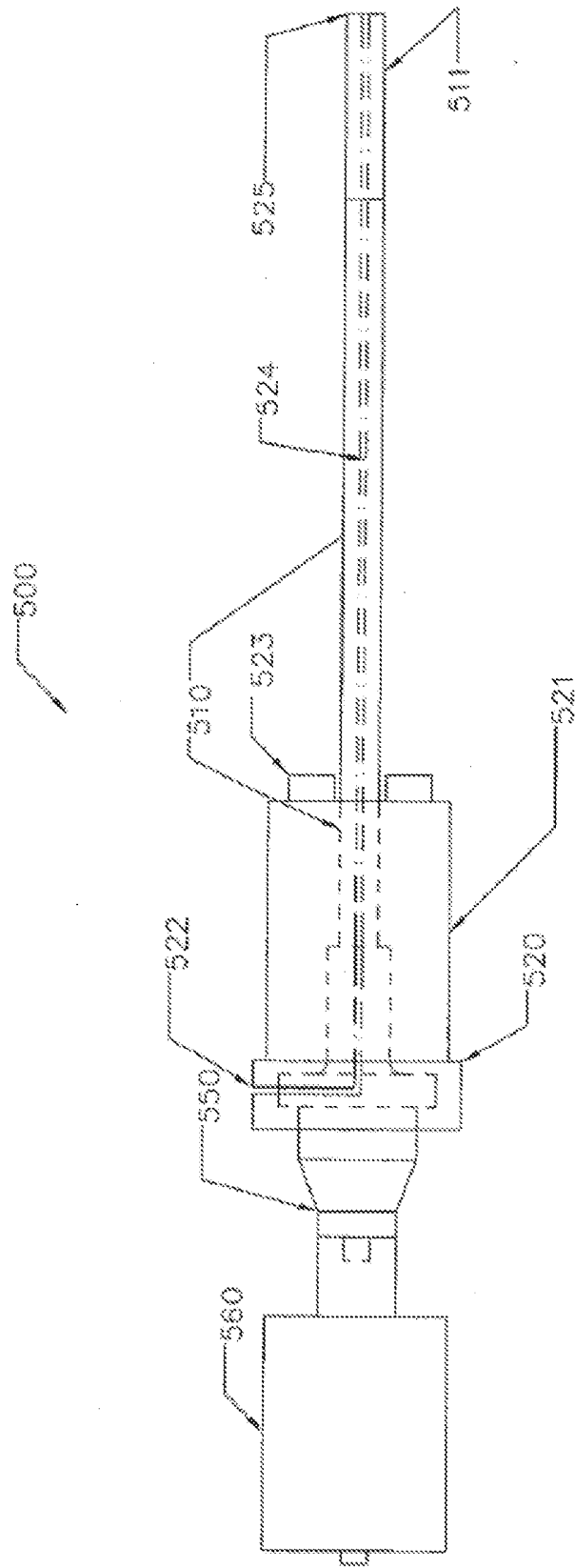


FIG. 5

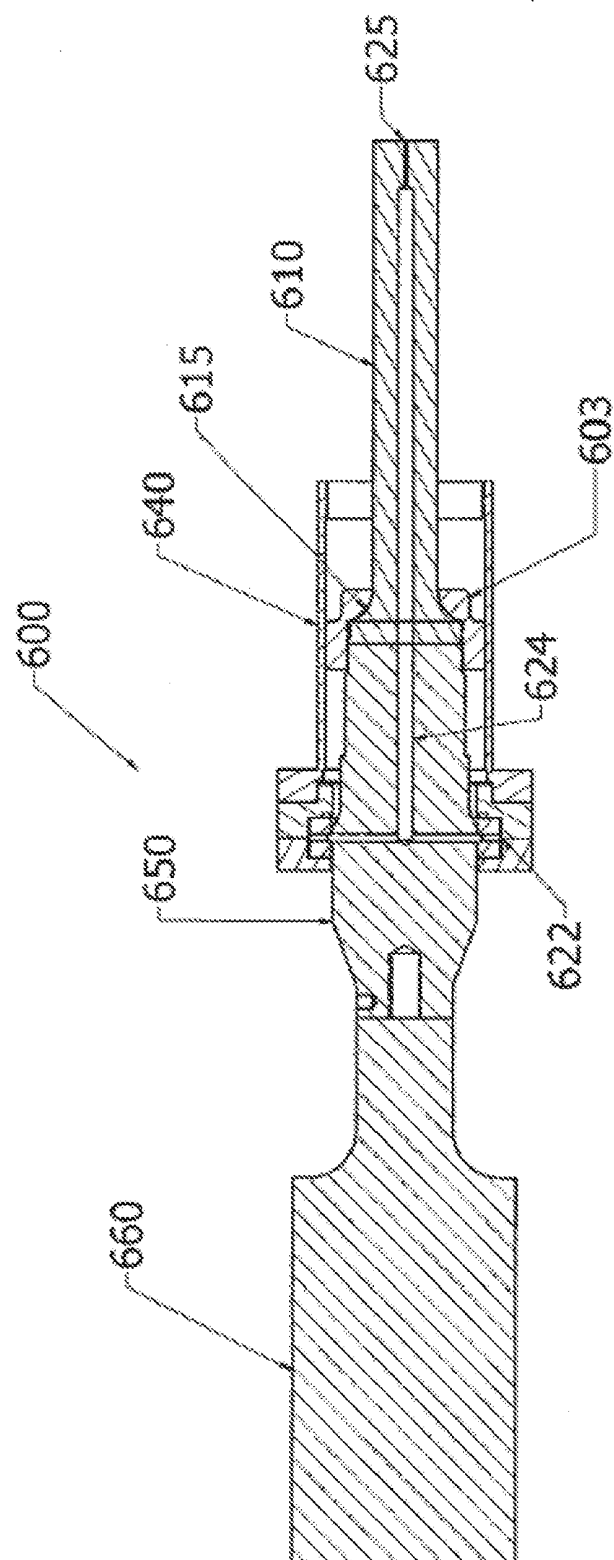


FIG. 6

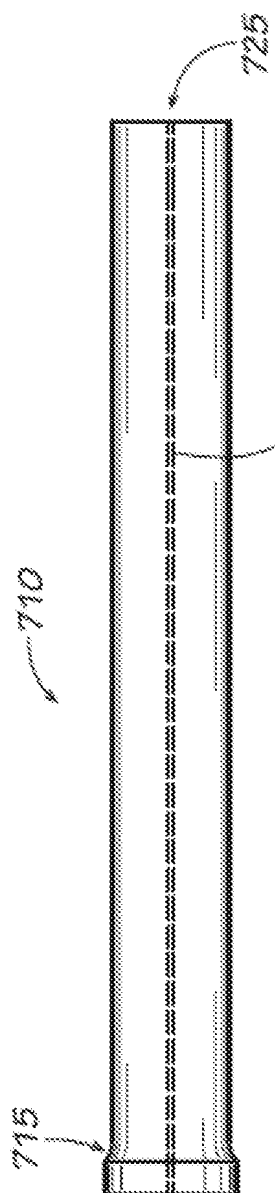


FIG. 7A

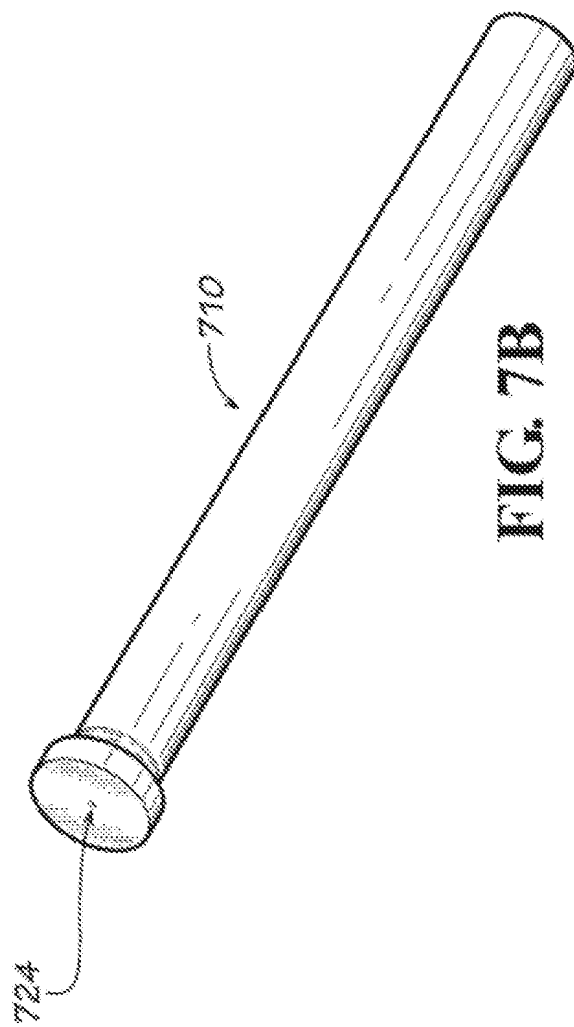


FIG. 7B

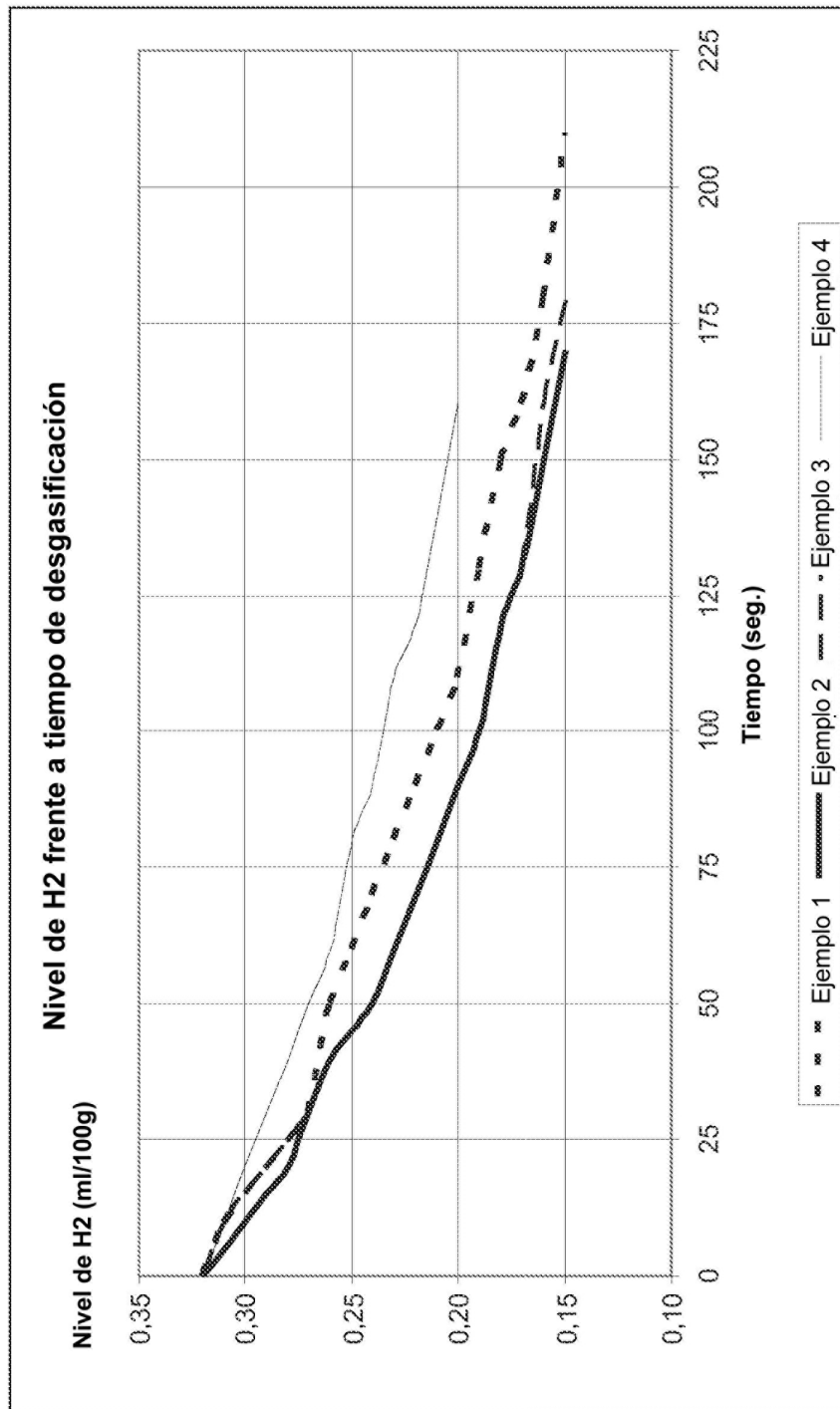


FIG. 8