

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 381 197**

51 Int. Cl.:
B22D 19/16 (2006.01)
B22D 19/02 (2006.01)
B22D 18/04 (2006.01)
B22D 18/06 (2006.01)
B22D 15/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **05762955 .2**
96 Fecha de presentación: **25.07.2005**
97 Número de publicación de la solicitud: **1778426**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **02.05.2007**

54 Título: **Procedimiento para producir un componente de gradiente funcional**

30 Prioridad:
26.07.2004 IE 20040502

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
24.05.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
24.05.2012

73 Titular/es:
**UNIVERSITY COLLEGE DUBLIN, NATIONAL
UNIVERSITY OF IRELAND DUBLIN
BELFIELD
DUBLIN 4, IE**

72 Inventor/es:
**BROWNE, David;
KELLY, Stephen;
TIERNAN, Peadar;
BATES, Andrew J. y
SCANLAN, Michelle**

74 Agente/Representante:
Zea Checa, Bernabé

ES 2 381 197 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

Procedimiento para producir un componente de gradiente funcional.

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para producir un componente de gradiente funcional, en particular un componente formado por dos o más materiales tales como metal, y más concretamente, un componente formado por dos o más aleaciones de aluminio a base del sistema aluminio - silicio (Al-Si), u otra aleación binaria o de múltiples componentes tales como Cu-Sn o Fe-C.

10 Existe una clara necesidad en la ingeniería de reducir el peso de las piezas resistentes al desgaste, producidas de una manera económica. Típicamente, los materiales que son resistentes al desgaste a menudo son inherentemente frágiles, y por lo tanto, si se utilizan en piezas móviles sometidas a cargas dinámicas (por ejemplo en un motor), existe riesgo de ruptura. Una manera de superar este problema es a través de la aplicación de un revestimiento exterior resistente y duro cubriendo un núcleo dúctil, por ejemplo un revestimiento cerámico sobre un núcleo metálico. Los medios convencionales para proporcionar tales revestimientos superficiales resistentes al desgaste se basan en plasmas, por ejemplo, deposición física en fase de vapor (PVD), deposición química en fase de vapor (CVD), o similar, y por lo tanto requieren un equipo costoso, mientras que solamente se deposita una capa muy fina, normalmente del orden de micras, que se desgastará rápidamente durante el uso. Además, en sustratos con recubrimiento pueden acumularse tensiones severas cuando el componente se somete a calentamiento o enfriamiento, debido al desequilibrio de los coeficientes de expansión térmica entre el recubrimiento y su sustrato. Esto puede tener como resultado que el recubrimiento se desconche y la deslaminación de la superficie de contacto entre el sustrato y el recubrimiento.

25 Otro material ligero pero resistente al desgaste es un compuesto de matriz metálica (MMC). Se trata de un material con una matriz metálica que incorpora partículas de cerámica de refuerzo, por ejemplo de carburo de silicio (SiC). Sin embargo, es problemático asegurar una adhesión adecuada (humectante) entre dichas partículas y la matriz metálica, normalmente de aluminio. Además, cuando estos materiales se funden para el moldeo, las partículas cerámicas tienden a aglomerarse o sedimentar en el fondo del componente.

30 La porosidad es una característica de los materiales que son tratados de esta manera, y es muy difícil de evitar. Las materias primas son también relativamente caras.

35 El moldeo por pulverización es otro procedimiento mediante el cual pueden formarse finas microestructuras en aleaciones hipereutécticas de Al-Si. El proceso implica la atomización de una corriente de un metal fundido con un gas inerte, y la deposición sobre un sustrato móvil que hace que el proceso sea relativamente caro, e incapaz de producir componentes cercanos a la forma final - solamente pueden producirse formas preliminares, que requieren un procesamiento posterior para formar componentes útiles.

40 US3192581 describe un nuevo procedimiento y aparato para producir un artículo metálico compuesto.

US2841846 describe un procedimiento para fabricar piezas fundidas metálicas.

45 JP56009044 describe un procedimiento para obtener fácilmente una barra de acero compuesto de buena calidad introduciendo un gas inerte en la cavidad de la barra de acero hueca en el momento de inyectar el acero fundido formando capas centrales.

DE2355745 describe un proceso para fabricar piezas metálicas compuestas, y en particular rodillos laminadores.

50 US399295 describe un rodillo o piñón formado por un cuerpo de acero y que presenta una cubierta delgada o recubierto por hierro fundido enfriado en el cuello o las superficies recubiertas.

55 Por lo tanto, un objetivo de la presente invención es disponer un nuevo procedimiento para producir un componente de gradiente funcional que comprende por lo menos una capa exterior de un primer material que presenta determinadas características físicas, y un núcleo interior de un segundo material que presenta unas características físicas diferentes, con un cambio gradual de la microestructura entre el primer y el segundo material.

La presente invención dispone por lo tanto un procedimiento para producir un componente de gradiente funcional, según la reivindicación 1. En las reivindicaciones dependientes 2-9 se reivindican etapas preferidas del procedimiento.

60 Tal como aquí se utiliza, el término "componente de gradiente funcional" se refiere a un componente que tiene una capa exterior de un primer material, y un núcleo interior de un segundo material, existiendo un cambio gradual en la microestructura a través de la superficie de contacto entre los dos materiales.

Tal como aquí se utiliza, el término "estado fundido" se refiere al estado de un material, por ejemplo un metal, que se obtiene normalmente calentando el material a una temperatura determinada o dentro de un determinado rango de temperaturas y que permitirá que el material fluya, por ejemplo dentro o fuera de un molde o similar, ya sea bajo la influencia de la gravedad o con ayuda adicional, y que se adapte a la forma del molde.

Tal como aquí se utiliza, el término "componente" se refiere a un producto final acabado o sustancialmente acabado listo para su uso en una aplicación prevista, además de referirse a un producto que puede requerir una o más etapas de procesamiento posteriores antes de ser considerado un producto acabado o estar listo para su uso en una aplicación particular.

La presente invención se describirá ahora con referencia a los dibujos que se acompañan, en los cuales:

La figura 1 ilustra una vista en perspectiva de una primera realización de un aparato para llevar a cabo el procedimiento de la presente invención;

La figura 2 ilustra una vista en alzado lateral en sección de una segunda realización de un aparato para llevar a cabo el procedimiento de la presente invención;

La figura 3 ilustra una vista en alzado lateral seccionada de una tercera realización de un aparato para realizar el procedimiento de la presente invención;

La figura 4 ilustra un alzado lateral en sección de un crisol que forma parte del aparato de la figura 3;

La figura 5 ilustra una vista en perspectiva de una tapa para el crisol ilustrado en la figura 4;

La figura 6 ilustra un alzado lateral en sección del aparato ilustrado en la figura 3, que tiene un metal A y un metal B situado en el mismo;

La figura 7 ilustra una vista en perspectiva de un bloque de válvulas que puede utilizarse con el aparato ilustrado en la figura 3;

La figura 8 ilustra una vista en perspectiva seccionada de una cuarta realización de un aparato para llevar a cabo el procedimiento de la presente invención, en la cual un molde se encuentra en posición elevada, y

La figura 9 ilustra una vista en alzado lateral en sección del aparato de la figura 9, en la cual el molde se encuentra en posición descendida.

Haciendo ahora referencia a la figura 1 de los dibujos que se adjuntan, se ilustra una primera realización de un aparato de acuerdo con la presente invención, indicado en conjunto por 10, para llevar a cabo el procedimiento de producir un componente de gradiente funcional de acuerdo con la presente invención. A lo largo de la siguiente descripción, el procedimiento de la presente invención se describe principalmente con referencia a la utilización de aleaciones basadas en el sistema aluminio-silicio (Al-Si), en particular aleaciones de Al-Si hipereutécticas e hipoeutécticas. Sin embargo, el procedimiento de la presente invención no queda limitado de ningún modo al uso de estas aleaciones u otras aleaciones metálicas, y puede utilizarse con casi cualquier material que pueda convertirse a un estado fundido para fundición, por ejemplo termoplásticos o similares. La elección de aleaciones de Al-Si hipereutécticas e hipoeutécticas simplemente refleja su dominancia en la fabricación componentes ligeros y resistentes al desgaste en un gran número de industrias, por ejemplo, la industria automovilística, aeroespacial y robótica.

Las aleaciones hipereutécticas tienen una microestructura de agujas de silicio en una matriz eutéctica, y son duras, pero frágiles cuando son monolíticas. Las aleaciones hipoeutécticas tienen una microestructura de fase de aluminio puro rodeado por una matriz eutéctica de dos fases. Estas aleaciones generalmente son duras y dúctiles, y útiles como material estructural. El procedimiento de la presente invención, tal como se describirá en detalle más adelante, es capaz de producir un componente con una superficie de composición y microestructura hipereutéctica, pero con un núcleo central de composición hipoeutéctica con un cambio gradual de la microestructura entre los dos. Esto proporciona una superficie resistente al desgaste, pero un núcleo duro, siendo estas propiedades ideales de muchos componentes utilizados en ingeniería mecánica.

Así, el aparato 10 de la primera realización, tal como se ilustra en la figura 1, comprende un molde sustancialmente convencional 12 fijado a un bastidor giratorio F, de manera que el molde 12 puede quedar sujeto en posición vertical tal como se ilustra, o invertido con el fin de decantar el material del mismo. Por lo tanto, se apreciará que el bastidor F podría tener cualquier forma y/o configuración adecuada, accionable para invertir el molde 12.

El molde 12 define una cavidad 14 en el negativo de la forma de un componente (no mostrado) que se ha de producir, que por motivos ilustrativos es un simple bloque rectangular. La aleación Al-Si de composición hipereutéctica (en lo sucesivo denominado material A) se funde, y se vierte en la cavidad 14. El calor del material A se extrae a través del molde 12, y por lo tanto el material próximo al molde 12 se enfría y se solidifica primero. El grosor de la película sólida crece con el tiempo, hasta que se considera que es del grosor correcto, en el que el molde 12 se invierte por medio del bastidor F, decantándose de este modo el material líquido A restante. Esto deja una capa de material A solidificado a lo largo de las paredes del molde 12. El grosor de la capa de material A variará dependiendo de la aplicación del componente de gradiente funcional (no mostrado) producido, y las condiciones bajo las cuales trabajará dicho componente. Lógicamente pueden influir otros factores en el grosor de la capa de material A, por ejemplo el coste de producir el componente. El material A decantado del molde 12 se mantiene preferiblemente en estado fundido en un depósito adecuado (no mostrado), para ser utilizado en la producción de componentes posteriores dentro del molde 12.

El molde 12 se dispone de nuevo entonces a la posición vertical, y se vierte una aleación Al-Si hipoeutéctica (en lo sucesivo material B) para llenar el espacio restante de la cavidad 14. Si se vierte material B en la cavidad 14 un intervalo suficientemente corto tras la decantación del material A, la capa de material A no tiene tiempo para oxidar, y por consiguiente no hay superficie de contacto final visible entre la capa exterior de material A y el núcleo material B. Si el procedimiento se lleva a cabo en una atmósfera de gas reductor, dicha oxidación no se produce incluso durante largos tiempos de exposición.

La falta de una superficie de contacto distinta entre el material A y el material B se debe también a la re-fusión de la superficie expuesta de material A por la adición de material B. La convección y el mezclado en la zona de líquido eliminan el gradiente brusco de la composición entre el material A y el material B. De este modo, existe una variación gradual en la composición y la microestructura, del material A al material B, por ejemplo, de una capa hipereutéctica exterior a un núcleo interior hipoeutéctico. El resultado es un material o componente de gradiente funcional (MGF), en el cual existe una capa exterior que tiene determinadas propiedades mecánicas, por ejemplo, ser duro y resistente al desgaste, y un núcleo que tiene propiedades mecánicas diferentes, por ejemplo, ser más blando, pero más tenaz y más dúctil. Dicho componente gradiente funcional también es menos sensible a tensiones que pueden acumularse cuando el componente se calienta o se enfría, a pesar de que es probable que exista una diferencia en el coeficiente térmico de los dos materiales que forman el componente gradiente funcional, el cambio gradual en la microestructura de una a otra, tal como se describe en detalle más adelante, minimiza el efecto de las tensiones mencionadas anteriormente.

Haciendo referencia específicamente a aleaciones Al-Si hipereutécticas y hipoeutécticas, la capa exterior hipereutéctica se deja solidificar relativamente rápido, lo que produce una fina microestructura superficial resistente al desgaste. Debido a que la aleación hipereutéctica líquida interior se decanta, no se crean tensiones severas en el centro del componente que se ha de formar, y también se evita la formación de grandes y problemáticas agujas de silicio, y no estarán presentes en el componente final ya que la aleación central o núcleo será hipoeutéctica. Si todo el componente se moldea de una aleación hipereutéctica, con el fin de obtener la superficie dura resistente al desgaste, la superficie del componente se solidificaría primero, y relativamente rápido, pero el interior se solidificaría más lentamente, dando lugar a la formación de grandes agujas de silicio, que son inherentemente frágiles. Debido a las tensiones producidas por la solidificación y la contracción, la pieza fundida podría incluso romperse antes de que se solidificara completamente. Incluso si la pieza fundida no se rompe, los grandes cristales de silicio internos en forma de aguja proporcionarían una vía para la propagación de grietas, haciendo que el material sea frágil. Estos son algunos de los problemas que se evitan con el procedimiento de la presente invención.

Además, el componente producido mediante el procedimiento de la presente invención, debido a su superficie hipereutéctica, que tiene un elevado contenido en silicio, tiene unas superiores propiedades térmicas superficiales, es decir, una mayor resistencia a alta temperatura, y mayores propiedades aislantes. Se trata de propiedades beneficiosas ya que en situaciones de desgaste, el rozamiento produce calor, y es importante que las altas temperaturas resultantes no ablanden el material A. Además, el gradiente en la composición del material A, al material B hace que el material sea más resistente a la fatiga térmica, una condición en la cual se producen tensiones fluctuantes o alternas por cambios de temperatura.

Haciendo ahora referencia a la figura 2 de los dibujos adjuntos, se ilustra una segunda realización de un aparato de acuerdo con la presente invención, indicado en conjunto por 110, que es un medio de ejemplo para llevar a cabo el procedimiento de la presente invención. El aparato 110 comprende de nuevo un molde 112 que define una cavidad 114 para la fundición de un componente de gradiente funcional (no mostrado) en el mismo. El molde 112 está formado por una primera caja de arena 20 de manera convencional, llenándose el interior de la caja de arena 20 con arena compactada 22 para definir la cavidad 114, tal como es práctica convencional en fundición. Es evidente que la primera caja de arena 20 y la arena asociada 22 podrían sustituirse por un molde (no mostrado) formado a partir de cualquier otro material adecuado, por ejemplo un metal que tenga un punto de fusión más alto que el material que ha de fundirse dentro de la cavidad 114, o un material cerámico.

La primera caja de arena 20 está montada encima de una segunda caja de arena similar 24, que de nuevo se llena con arena compactada 22, para definir un par de canales 26 que se extienden hacia abajo desde una base de la cavidad 114. El par de canales 26 se extienden hacia un depósito 28, que está definido dentro de una tercera caja de arena 30 que se llena de arena compacta 22 para definir el depósito 28.

Cada caja de arena 20, 24, 30 está provista de un par de asas 32 dispuestas de manera opuesta con el fin de facilitar su levantamiento/posicionamiento. Además, cada caja de arena 20, 24, 30 está provista de una lengüeta 34 en cada esquina de las mismas, definiendo cada lengüeta 34 un orificio 36 a través de las mismas. De este modo, cuando las cajas de arena 20, 24, 30 se apilan una encima de la otra, los orificios 36 de lengüetas adyacentes 34 quedan alineados y, por lo tanto, pueden disponerse unos pasadores posicionadores (no mostrados) a través de los mismos para sujetar las cajas de arena 20, 24, 30 entre sí.

En funcionamiento, un par de varillas 38, formadas preferiblemente de carbono o cualquier otro material que tenga un punto de fusión suficientemente alto, se insertan hacia abajo a través de la cavidad 114, y en los canales 26 con el fin de cerrar la misma, para que el material fundido pueda ser introducido en la cavidad 114 y no se drene hacia abajo a través de los canales 26 hacia el depósito 28.

De nuevo, al describir el procedimiento de la presente invención tal como se implementa con el aparato 110, se hará referencia a material A, preferiblemente una aleación Al-Si hipereutéctica, y material B, preferiblemente una aleación Al-Si hipoeutéctica. Inicialmente, el material A y el material B se funden, por ejemplo en un horno adecuado, tal como un horno de inducción o similar. El material A se vierte entonces en la cavidad 114 para llenarla. Hay que señalar que la cavidad 114 es de forma anular, con un núcleo central 40, por ejemplo formado de acero inoxidable o similar. Así, el aparato 110 está adaptado para producir un componente anular, por ejemplo un casquillo (no mostrado) o similar con una superficie interior compuesta de material A. Mientras el material A se deja solidificar alrededor del perímetro de la cavidad 114, el par de varillas 38 se mantienen en posición tal como se muestra. Cuando la capa de solidificación del material A ha alcanzado el grosor deseado, se tira del par de varillas 38 hacia arriba fuera de los canales 26, permitiendo de este modo que el material fundido restante A drene hacia abajo hacia el depósito 28. El par de varillas 38 quedan colocadas, cuando están sujetas dentro de los canales 26, una distancia suficiente de las paredes de la cavidad 114 para permitir que se forme una capa solidificada de material A.

Una vez que se han extraído las barras 38, y el material fundido A ha drenado en el depósito 28, se introduce después un material fundido B en la cavidad 114, alrededor de la capa semisólida de material A. El material B no drena a través de los canales 26 ya que hay un volumen suficiente de material A para llenar tanto el depósito 28 como los canales 26. Las barras 38 pueden calentarse o realizarse de un material aislante para evitar cualquier solidificación del metal en las propias barras 38.

La introducción del material fundido B efectúa una re-fusión de la superficie de contacto entre el material A y el material B, lo que resulta en un gradiente en la microestructura y unas propiedades entre el material A y el material B, en lugar de un cambio brusco. De nuevo, es preferible que el procedimiento se lleve a cabo en una atmósfera de gas reductor, o por lo menos las etapas de decantación del material A, y la fundición del material B.

El aparato 110 permite de este modo realizar el procedimiento de la presente invención, para producir un componente de gradiente funcional.

Haciendo referencia ahora a las figuras 3 a 6, se ilustra una tercera realización de un aparato, indicado en conjunto por 210, para llevar a cabo el procedimiento de acuerdo con la presente invención. De nuevo, al describir esta tercera realización se hará referencia al material A, que presenta determinadas propiedades mecánicas, y al material B, que presenta unas propiedades mecánicas diferentes, siendo el material A preferiblemente una aleación Al-Si hipereutéctica, y siendo el material B preferiblemente una aleación Al-Si hipoeutéctica. El aparato 210 comprende un molde 212 que define una cavidad 214 en la forma negativa de un componente (no mostrado) para ser moldeado. La cavidad 214 está definida principalmente en el interior de una primera caja de arena 220, llena de arena compacta 222 para definir la forma de la cavidad 214, tal como es práctica convencional en fundición. La primera caja de arena 220 está montada encima de una segunda caja de arena 224, que también está llena de arena compacta 222, y define una parte inferior de la cavidad 214. Es evidente que toda la cavidad 214 podría estar contenida en el interior de la primera caja de arena 220. También se apreciará que las cajas de arena 220, 224 podrían sustituirse por cualquier otro molde adecuado (no mostrado), formado de cualquier material adecuado. Un par de canales 226 se extienden desde la cavidad 214 para introducir y extraer el material A y el material B de la cavidad 214, tal como se describirá en detalle más adelante. Las cajas de arena 220, 224 preferiblemente están provistas también de un par de asas 232 cada una, para levantar y posicionar las mismas.

El aparato 210 comprende, además, un crisol 50 acoplable de manera desmontable a la segunda caja de arena 224, siendo el crisol 50 de tipo refractario estándar, y quedando dividido en una primera cámara 52 y una segunda

cámara 54 para recibir el material A y el material B respectivamente. El crisol 50 se muestra de manera aislada en la figura 4.

5 El aparato 210 comprende, además, una tapa 56 para el crisol 50, tal como se ilustra de manera aislada en la figura 5. La tapa 56 presenta una forma y un tamaño para proporcionar un cierre estanco a la presión entre el crisol 50 y la tapa 56. Para este fin, la tapa 56 está provista de un reborde 58 para recibir el extremo superior del crisol 50, alrededor del cual puede disponerse un compuesto de sellado.

10 Alternativamente, puede utilizarse una junta (no mostrada) entre la tapa 56 y la parte superior del crisol 50. Se aplica presión para apretar la junta (no mostrada) entre la placa 50 y la tapa 56 con el fin de formar un cierre estanco a la presión.

15 Alternativamente, la tapa 56 puede estar realizada en un material de fibra cerámica y comprimida en la parte superior de la placa 50, formando así un cierre estanco a la presión.

20 Un primer tubo de alimentación 60 se extiende a través de la tapa 56 que, en funcionamiento, queda situado en el interior de la primera cámara 52, y un segundo tubo de alimentación 62 que, en funcionamiento, queda situado en el interior de segunda cámara 54. El primer y el segundo tubo de alimentación 60, 62 están formados preferiblemente en un material de grafito o cerámica, o cualquier otro material que sea capaz de resistir el calor del material fundido A y el material B. El primer y el segundo tubo de alimentación 60, 62 están dimensionados para extenderse a una posición adyacente a una base del crisol 50.

25 A través de la tapa 56 se extiende también un primer tubo de bombeo 64 que, de este modo, en funcionamiento se encuentra en el interior de la primera cámara 52, y un segundo tubo de bombeo 66 que, en funcionamiento, se encuentra en el interior de la segunda cámara 54. El primer y el segundo tubo de bombeo 64, 66 están dimensionados para terminar dentro de la parte superior del crisol 50. El primer y el segundo tubo de bombeo 64, 66 están colocados para salir de la tapa 56 adyacente a su perímetro, con el fin de ser accesibles cuando la segunda caja de arena 224 queda asentada sobre la tapa 56.

30 Tal como se ilustra en la figura 3, cuando la segunda caja de arena 224 está montada en la tapa 56, cada uno de los canales 226 quedan en comunicación hidráulica con uno respectivo del primer tubo de alimentación 60 y el segundo tubo de alimentación 62. De este modo, se proporciona un camino desde el primer depósito 52 hacia la cavidad 214, y desde la segunda cámara 54 hacia la cavidad 214. En el interior del canal 226, por encima del primer tubo de alimentación 60, se dispone una primera válvula 68, que puede accionarse para permitir o impedir el flujo de material A entre la primera cámara 52 y la cavidad 214, mientras que en el interior del canal 226, por encima del segundo tubo de alimentación 62 se dispone una segunda válvula 70, pudiéndose accionar la segunda válvula 70 para permitir o impedir el flujo de material B entre la segunda cámara 54 y la cavidad 214. La primera y la segunda válvula 68, 70 pueden ser de cualquier forma adecuada, siempre que puedan resistir las temperaturas que se dan en el aparato 210 durante el funcionamiento.

40 Por lo tanto, en funcionamiento, y con referencia en particular a la figura 6, en el interior de la primera cámara 52 se dispone una cantidad de material A, y en el interior de la segunda cámara 54 se dispone una cantidad de material B. La tapa 56 se cierra de manera estanca entonces sobre el crisol 50 y las cajas de arena 220, 224 montadas en el mismo tal como se muestra. El par de válvulas 68,70 quedan inicialmente dispuestas en posición cerrada. Si no se ha hecho, el material A y el material B se funden, preferiblemente mediante la colocación de la placa 50 dentro de un horno, más preferiblemente en un horno de inducción. Alternativamente, el material A y B pueden fundirse en otro horno (no mostrado) y verterse en el crisol 50 a través de sus respectivos tubos de alimentación 60, 62.

50 La primera válvula 68 entonces se abre y se introduce gas en la primera cámara 52, bajo presión, a través del primer tubo de bombeo 64. La presión del gas, por lo tanto, obliga al material fundido A a subir por el primer tubo de alimentación 60, hacia la cavidad 214 para llenarla. La presión se mantiene durante un período de tiempo especificado para permitir que el material A solidifique a lo largo de la superficie de la cavidad 214. El grosor de la capa solidificada se controla por el tiempo que se mantiene la presión dentro de la primera cámara 52. Una vez que la capa solidificada de material A ha alcanzado un grosor deseado, se libera la presión, y por lo tanto el material líquido restante A drena hacia abajo a través del primer tubo de alimentación 60 hacia la primera cámara 52.

60 La primera válvula 68 se cierra y la segunda válvula 70 se abre. Si es necesario podría utilizarse un dispositivo (no mostrado) para realizar un orificio a través de cualquier metal solidificado que bloquee el segundo tubo de alimentación 62. Entonces se aplica presión a la segunda cámara 54 a través del segundo tubo de bombeo 66, obligando así al material fundido B a subir por el segundo tubo de alimentación 62, y hacia la cavidad 214. El material fundido B re-funde la capa superficial del material A dentro de la cavidad 214, creando así una superficie de contacto gradiente entre los dos materiales A y B. La presión se mantiene dentro de la segunda cámara 54 hasta que el material B se solidifica dentro de la cavidad 214, ayudando así a evitar problemas de contracción. La presión

se libera con el fin de permitir que el material fundido B en el interior del segundo tubo de alimentación 62 caiga de nuevo en la segunda cámara 54. La primera caja de arena 220 puede entonces retirarse de la segunda caja de arena 224, para exponer el componente de gradiente funcional terminado.

- 5 Se apreciará que el crisol 50, o más concretamente la primera cámara 52 y la segunda cámara 54, podrían sustituirse por dos crisoles separados (no mostrados), que pueden alojarse dentro de una cámara hermética (no mostrada), que contiene preferiblemente un horno de inducción (no mostrado). La cámara puede entonces presurizarse para bombear el material A y el material B en el molde, con el uso de válvulas adecuadas (no mostradas) para evitar que tanto el material A como el material B sean bombeados hacia el molde a la vez.
- 10 Alternativamente, podrían utilizarse dos cámaras separadas (no mostradas) para alojar los dos crisoles (no mostrados), si se requieren diferentes temperaturas de mantenimiento para el material A y el material B.

Haciendo referencia a la figura 7, la primera y la segunda válvula 68, 70 podrían sustituirse por un bloque de válvulas 80 que comprende un cuerpo 82 que tiene un primer orificio pasante 84 y un segundo orificio pasante 86 en el mismo, presentando cada orificio pasante 84, 86 una válvula (no mostrada) asociada operativamente al mismo, pudiéndose accionar las válvulas (no mostrado) mediante un respectivo primer mango 88 y segundo mango 90. Además, el bloque de válvulas 80 está provisto preferiblemente de una o más cámaras de calentamiento 92 que se extienden hacia el interior del cuerpo 82, en el cual pueden insertarse unos elementos calefactores (no mostrados) para evitar la solidificación del material A o el material B dentro del bloque de válvulas 80. El bloque de válvulas 80 preferiblemente sustituiría entonces toda la segunda caja de arena 224, y las válvulas 68, 70, la primera caja de arena 220 iría entonces montada directamente sobre el bloque de válvulas 80. Con dicha disposición, toda la cavidad 214 tendría que estar colocada en el interior de la primera caja de arena 220 o cualquier otro molde adecuado (no mostrado). El uso del bloque de válvulas 80 evita la necesidad de colocar cuidadosamente y con precisión las válvulas 68, 70 dentro de la arena compactada 222 de la segunda caja de arena 224, lo cual puede ser una tarea que lleve tiempo y resultar difícil.

15

20

25

Haciendo referencia a las figuras 8 y 9, se ilustra una cuarta realización de un aparato de acuerdo con la presente invención, indicada en conjunto por 410, para realizar el procedimiento de producir un componente de gradiente funcional de acuerdo con la presente invención. El aparato 410 está adaptado para realizar el moldeo en vacío de un componente de gradiente funcional (no mostrado), tal como se describe más adelante. El aparato 410 comprende un molde 412, formado preferiblemente de arena compactada, definiendo el molde 412 una cavidad 414 en éste, para la fundición del componente de gradiente funcional (no mostrado) en el mismo. El molde 412 queda sujeto o retenido en el interior de una ventosa 95, entre la cual y el molde 412 existe una junta hermética. Aunque la ventosa 95 es de sección transversal sustancialmente circular en la realización ilustrada, se apreciará que podría utilizarse cualquier otra forma adecuada.

30

35

Un tubo de succión 96 se extiende desde la ventosa 95 que, en funcionamiento, está conectado a una bomba de vacío (no mostrada) o similar, para poder aplicar una presión negativa o de vacío al molde 412, a través de la ventosa 95. Como el molde 412 está formado por una arena porosa, se creará de este modo un vacío en el interior de la cavidad 414. El molde está provisto de una puerta o canal 426 en la parte inferior del mismo, que da acceso externo a la cavidad 414. El molde también puede estar provisto de refrigeradores 97 dispuestos en varios lugares alrededor del molde 414 para controlar la solidificación del material en el interior del molde 414, y por lo tanto el grosor del material adyacente a dichos refrigeradores 97.

40

De este modo, en funcionamiento, el molde 412, sujeto en el interior de la ventosa 95, se coloca por encima de un horno 450, preferiblemente horno de inducción, que contiene material fundido A. El molde 412 baja entonces hacia el material A, tal como se ilustra en la figura 9, y se aplica vacío a la ventosa 95, y por lo tanto a la cavidad 414, aspirando aire a través del tubo de succión 96, en la dirección de la flecha V. El material A es por lo tanto aspirado hacia la cavidad 414, y comienza a solidificar contra sus paredes. Después de que el material A haya alcanzado un grosor deseado, se libera el vacío de la ventosa 95, y la parte fundida de material A en el interior de la cavidad 414 se vierte de nuevo al horno 450 por gravedad.

45

50

El molde 412 y la ventosa 95 se transfieren rápidamente a un segundo horno (no mostrado), preferiblemente del mismo tipo que el primer horno 450, aunque conteniendo material fundido B (no mostrado). El proceso anterior se repite entonces, bajando el molde 412 hacia el material B, y se aplica vacío a la cavidad 414 para introducir el material fundido B en la cavidad 414 para formar un núcleo dentro de la superficie exterior del material A. El vacío se mantiene hasta que el material B se ha solidificado completamente.

55

Se apreciará lógicamente que el material B podría liberarse de nuevo en el segundo horno (no mostrado) después de la solidificación parcial del mismo, e introducirse un tercer material (no mostrado) en la cavidad 414, y así sucesivamente.

60

Este tipo de moldeo por vacío se conoce generalmente como fusión de aire a baja presión por contragravedad (CLA). Una variante común es el proceso de fusión por vacío a baja presión por contragravedad (CLV). La diferencia entre los dos procesos es que con CLA, el metal se funde normalmente abierto a la atmósfera, mientras que con CLV, el metal se funde al vacío. Por lo tanto, el CLV se utiliza generalmente para metales reactivos que no pueden fundir en el aire.

Hay que indicar que las realizaciones descritas anteriormente son medios relativamente simples para llevar a cabo el procedimiento de la presente invención, y podrían introducirse en el mismo diversas modificaciones o mejoras. Por ejemplo, podrían disponerse unos depósitos adecuados de material caliente, normalmente conocidos como alimentadores (no mostrados) para controlar las velocidades de solidificación del material A y el material B, en particular para evitar la solidificación de los bebederos antes que el material A y/o el material B en la cavidad 214, ya que esto podría dar lugar a problemas de contracción y dificultades con el uso de un segundo molde (no mostrado) en un ciclo de producción. Además, podrían disponerse unos refrigeradores adecuados (no mostrados) alrededor del molde 212 para controlar las velocidades de solidificación y llevar el material A hacia zonas específicas del componente a producir, por ejemplo sobre una superficie o parte particular de una superficie. Alternativamente, podría utilizarse un molde metálico (no mostrado), o un molde de cualquier otro material adecuado, con secciones calientes o frías para controlar la solidificación.

Es evidente que también podría adaptarse cualquier otro proceso de moldeo adecuado para utilizarse con el procedimiento de acuerdo con la presente invención. Por ejemplo, el Proceso Hitchiner es un proceso de fundición de precisión en el cual se extrae metal fundido hacia un molde (no mostrado) aplicando vacío parcial a una cámara hermética alrededor del molde. Un tubo (no mostrado) se extiende hacia abajo desde el molde en un baño o crisol del metal fundido, lo que facilita la succión del metal fundido hacia el molde. La extracción del metal fundido hacia el molde permite de este modo una velocidad de llenado muy controlada y unos niveles muy bajos de impurezas en el producto fundido (no mostrado). Así, el procedimiento de la presente invención podría adaptarse al proceso Hitchiner proporcionando dos baños de metal fundido, uno conteniendo material A, y uno conteniendo material B. El molde (no mostrado) puede prepararse de manera similar al proceso Hitchiner estándar, pero puede tener refrigeradores (no mostrados) insertados en lugares deseados para producir mayores puntos de solidificación de material A. El molde se dispone entonces por encima del baño de material A, con el tubo de entrada por debajo de la superficie del material fundido A. A continuación, el material se coloca en el molde aplicando vacío al molde, y después de un tiempo especificado, cuando ha solidificado una cantidad suficiente de material A en las paredes del molde (no mostrado), o ha solidificado sólo en los refrigeradores (no mostrado), se libera el vacío y la parte restante de material fundido A se decanta de nuevo hacia el baño o crisol (no mostrado). El molde o el crisol se mueve entonces de manera que el molde queda por encima del segundo baño o crisol (no mostrado) que contiene el material fundido B, de nuevo con el tubo del molde extendiéndose por debajo de la superficie de material B. El vacío se utiliza de nuevo para extraer el material B hacia arriba para llenar la parte restante del molde. El material B se combina con la capa superficial blanda expuesta de material A y forma una microestructura de gradiente. Cuando el material B se ha solidificado completamente en el molde se libera el vacío. Si se desea, el vacío podría liberarse después de que los componentes individuales hayan solidificado pero antes de que solidifique un bebedero (no mostrado) con el fin de ayudar en el proceso de fabricación.

Otro proceso de moldeo que puede adaptarse para su uso con el procedimiento de la presente invención es el proceso Cosworth, que es una variación en el proceso de moldeo bajo presión. La diferencia fundamental con el proceso Cosworth es el uso de bombas de metal para transferir metal fundido a un molde (no mostrado), en lugar de aplicar una diferencia de presión de gas a un crisol cerrado (no mostrado). Cabe señalar también que, si bien el procedimiento de producir un componente de gradiente funcional de acuerdo con la presente invención está destinado principalmente a utilizarse en la producción de un producto acabado o sustancialmente terminado (no mostrado), el procedimiento de la presente invención también tiene el potencial de producir lingotes, losas, tochos (no mostrado), etc. para la producción de productos de metal forjado o similar. Por ejemplo, podría producirse una barra (no mostrada) de acuerdo con el procedimiento de la presente invención, utilizando cualquiera de los procesos descritos anteriormente, y podría producirse entonces un producto de metal forjado de gradiente funcional (no mostrado) utilizando uno o más de una serie de procesos de extrusión o similar, por ejemplo laminado en caliente, estirado en frío, etc. Dicha barra (no mostrada) podría utilizarse también en un proceso de forjado, por ejemplo estampado o similar.

El procedimiento de acuerdo con la presente invención también puede utilizarse para producir un componente de vidrio metálico masivo (BMG), o un componente que tenga una capa externa de vidrio metálico masivo. El BMG es un material relativamente nuevo producido por superenfriamiento de metal líquido para formar un sólido vítreo que tiene una resistencia excepcionalmente alta, y una resistencia al desgaste y a la corrosión, y elasticidad, además de una serie de otras características beneficiosas. Este nuevo tipo de material fue descubierto en el *California Institute of Technology* en 1960, y ha sido objeto de mucha investigación y actividad comercial, sobre todo desde la última década. Sin embargo, la conducción de calor en el BMG es lenta, y por tanto la velocidad de enfriamiento requerida sólo puede obtenerse con una pieza fundida con un grosor relativamente pequeño. El procedimiento de la presente

- invención podría utilizarse para crear BMG por fundición y decantación en serie, permitiendo formar un componente BMG en capas, ya que solamente se solidifica una fina capa en un momento determinado, permitiendo obtener las velocidades de enfriamiento requeridas. Este procedimiento también podría adaptarse para combinar un BMG con un material cristalino, siendo una capa intermedia de transición parcialmente cristalina. Este proceso implica la fundición inicial de una capa de BMG utilizando una velocidad de enfriamiento suficientemente elevada en una pared o partes de una pared de un molde (no mostrado), y luego decantar el material líquido restante, y posteriormente fundir un núcleo cristalino dentro la capa de BMG. La capa de transición entre la capa exterior de BMG y el núcleo cristalino sería entonces una zona parcialmente cristalina.
- 5
- 10 La presente invención dispone, por lo tanto, un procedimiento relativamente simple para producir un componente de gradiente funcional, en particular, un componente de metal ligero formado a partir de, por ejemplo, dos o más aleaciones de aluminio, que presenta una capa externa con unas propiedades particulares, por ejemplo de resistencia al desgaste, y por lo menos una capa interna o núcleo que tiene unas propiedades diferentes, por ejemplo resistencia al choque o similar.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para producir un componente de gradiente funcional, comprendiendo el procedimiento introducir un primer material, en estado fundido, en un molde (12); dejar que una capa del primer material solidifique por lo menos parcialmente contra una pared del molde (12); decantar la parte restante fundida del primer material; introducir un segundo material, en estado fundido, en el molde (12);
- caracterizado por el hecho de que el procedimiento comprende, además, las etapas de:
- 10 volver a fundir la superficie expuesta del primer material por la adición del segundo material fundido para efectuar una convención y mezclar en la superficie de contacto entre el primer y el segundo material para producir un cambio gradual en la microestructura entre el primer y el segundo material.
- 15 2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que por lo menos la etapa de decantación se lleva a cabo en una atmósfera de gas reductor.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por el hecho de que comprende introducir inmediatamente el segundo material en el molde (12) tras decantar el primer material para evitar la oxidación de la capa del primer material.
- 20 4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que comprende la etapa adicional de alterar la temperatura en uno o más lugares de la pared del molde (12), antes de introducir el primer material, con el fin de obtener un grosor deseado de la capa del primer material en dicho uno o más lugares.
- 25 5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que comprende, en la etapa de introducir el primer material, introducir el primer material en el molde (12) bajo presión.
6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que comprende, en la etapa de introducir el segundo material, introducir el segundo material en el molde (12) bajo presión.
- 30 7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que comprende la etapa adicional de calentar previamente por lo menos una parte del molde (12) antes de introducir el primer material.
- 35 8. Procedimiento según la reivindicación 6 o 7, caracterizado por el hecho de que comprende la etapa adicional de mantener el segundo material bajo presión en el interior del molde; dejar que el segundo material solidifique sustancialmente; y liberar la presión del segundo material
- 40 9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que comprende las etapas adicionales de dejar que una capa del segundo material solidifique por lo menos parcialmente en la capa del primer material; decantar la parte restante fundida del segundo material; e introducir un tercer material, en estado fundido, en el molde (12).

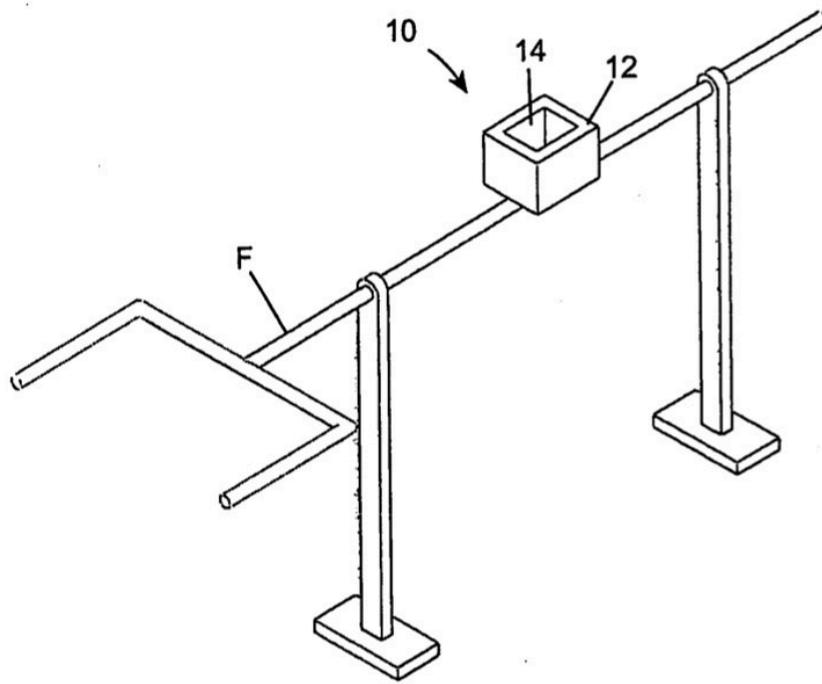


Fig. 1

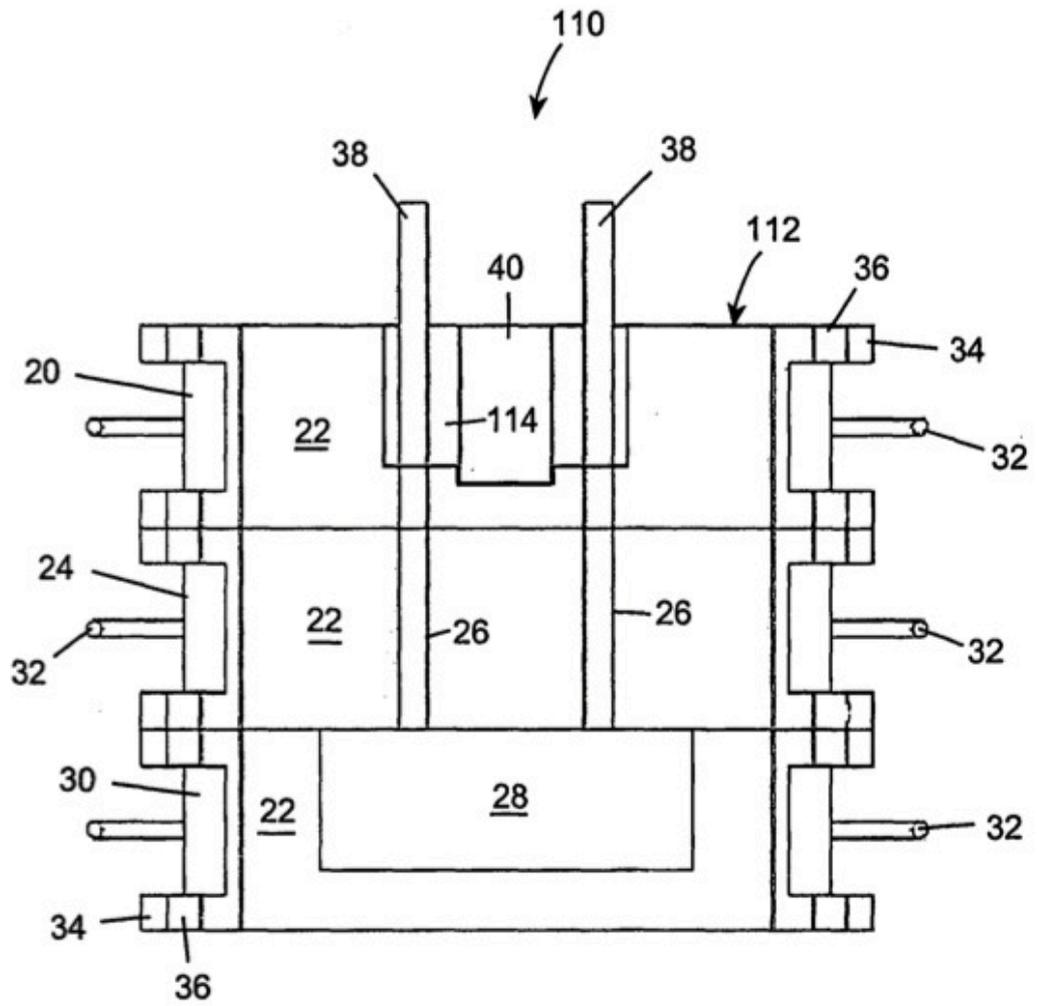


Fig. 2

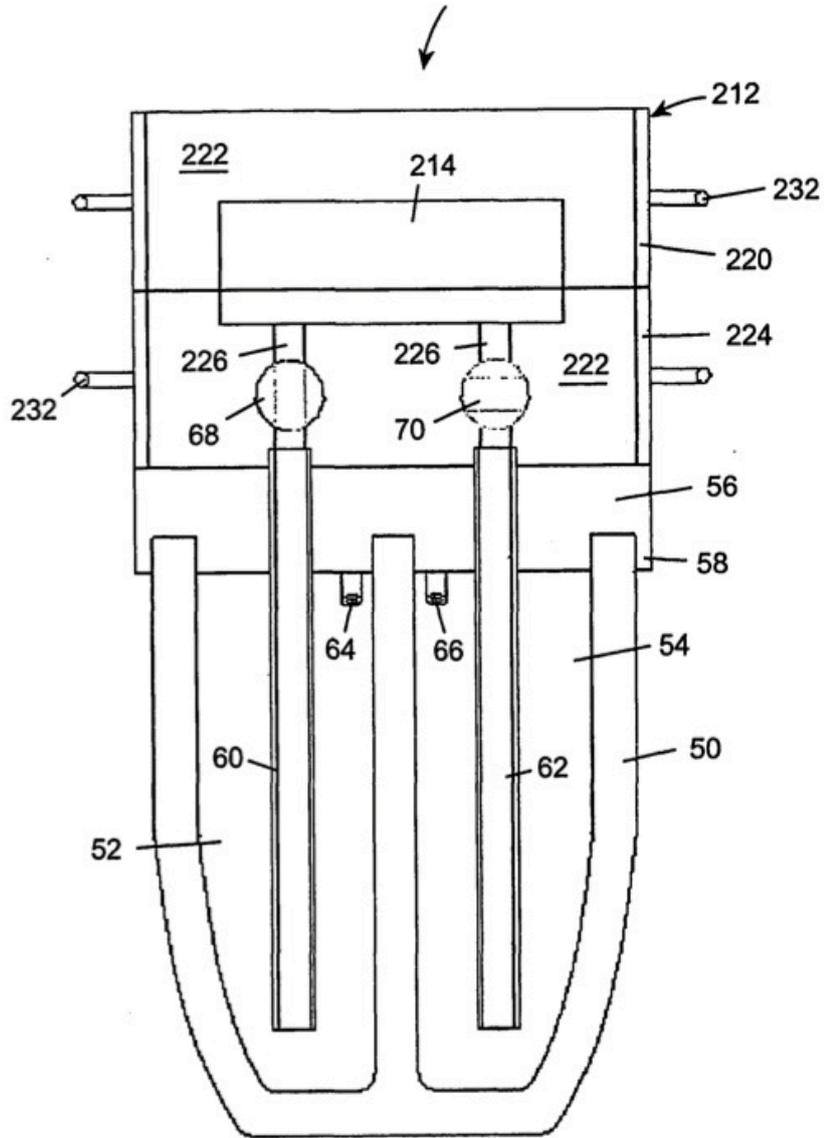


Fig. 3

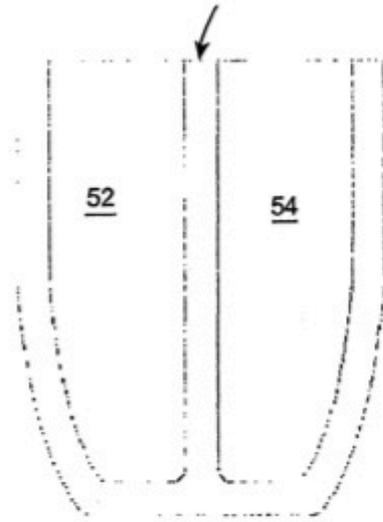


Fig. 4

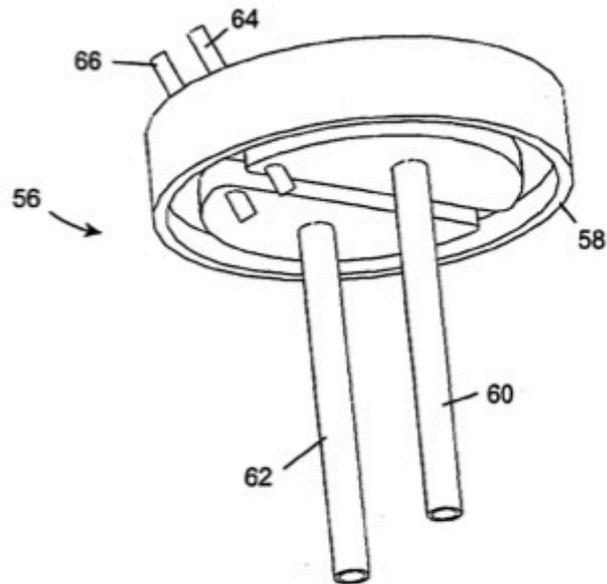


Fig. 5

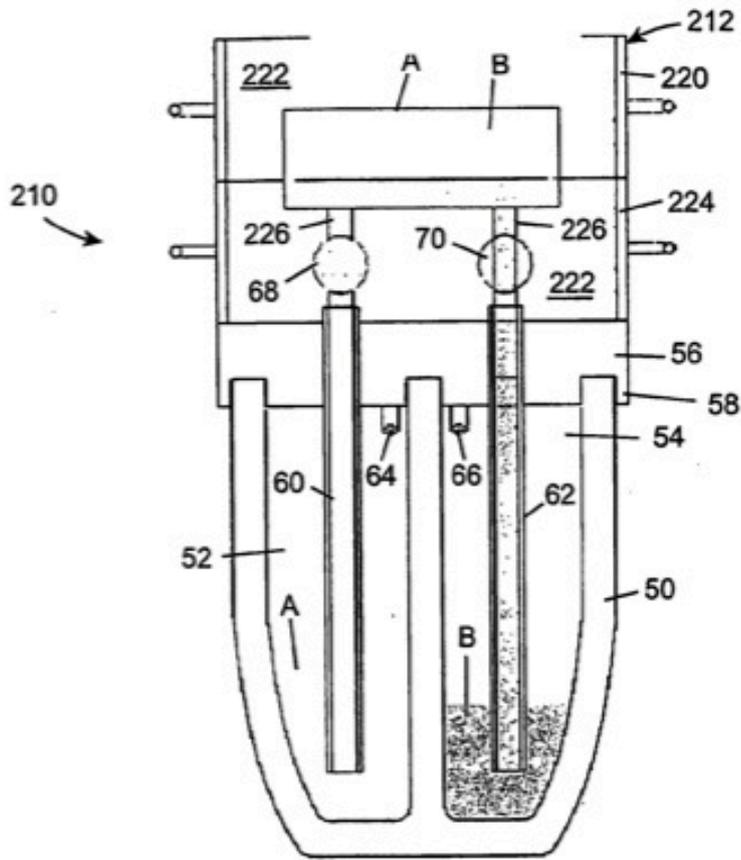


Fig. 6

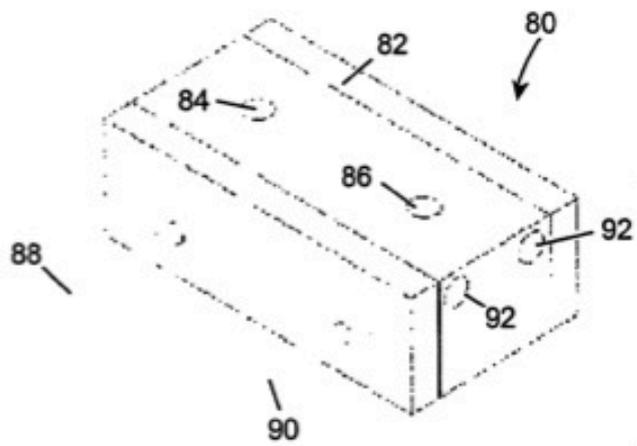


Fig. 7

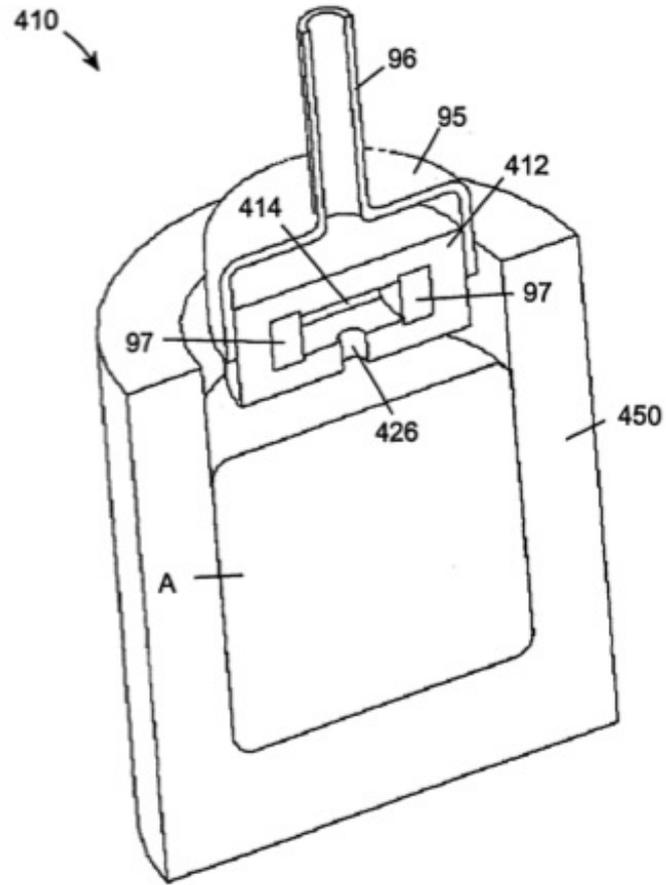


Fig. 8

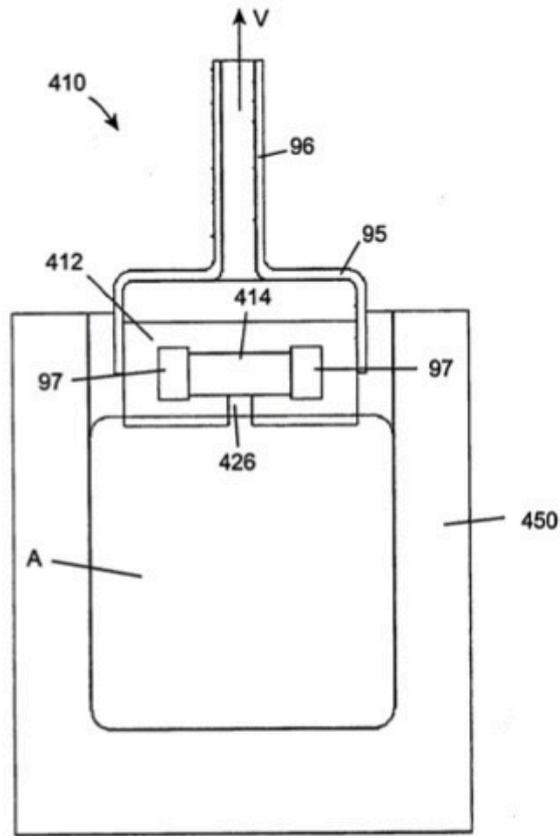


Fig. 9

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

5 *Esta lista de referencias citadas por el solicitante es únicamente para la comodidad del lector. No forma parte del documento de la patente europea. A pesar del cuidado tenido en la recopilación de las referencias, no se pueden excluir errores u omisiones y la EPO niega toda responsabilidad en este sentido.*

Documentos de patente citados en la descripción

- 10
- • US 3192581 A
 - • US 2841846 A
 - • JP 56009044 A
 - • DE 2355745
 - • US 399295 A