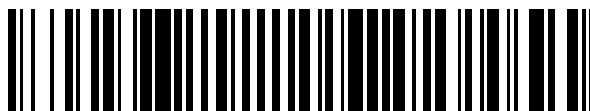


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 402 255**

51 Int. Cl.:

**B22F 3/105** (2006.01)

**C22C 29/06** (2006.01)

**C22C 32/00** (2006.01)

**C22C 33/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.02.2010 E 10154811 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.01.2013 EP 2361704**

54 Título: **Material multifásico metálico y métodos de fabricación para el mismo**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**30.04.2013**

73 Titular/es:

**VBN COMPONENTS AB (100.0%)  
P.O. Box 1310  
751 43 Uppsala, SE**

72 Inventor/es:

**BESTE, ULRIK;  
VIKNER, PETER y  
NILSSON, MARTIN**

74 Agente/Representante:

**ES 2 402 255 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

Material multifásico metálico y métodos de fabricación para el mismo.

5 Campo técnico

La presente invención se refiere en general a materiales multifásicos metálicos y a métodos de fabricación para los mismos y en particular a materiales tales que tienen carburos en una matriz metálica.

10 Antecedentes

Se usan materiales duros y multifásicos, tales como carburo cementado, acero rápido, satélites o similares en un gran número de aplicaciones tales como herramientas y piezas de desgaste. Las propiedades de tales materiales normalmente se definen por una alta dureza y un alto contenido en fase dura y por tanto una alta resistencia al desgaste. La fase dura normalmente está representada en estos materiales por un alto contenido en carburos y esta fase dura está rodeada por un material de matriz tal como Fe, Co, Ni, etc., y aleaciones y fases de los mismos. El material de matriz normalmente también es duro, pero normalmente se produce para lograr un equilibrio deseado con otras propiedades importantes tales como resistencia a la corrosión y tenacidad a la fractura.

20 En estos tipos de materiales, las propiedades se establecen por los elementos constituyentes, la microestructura y los tamaños y el nivel de carburos. Además, algunas propiedades también están determinadas por el contenido en materia extraña, por las denominadas *inclusiones no metálicas*. El nivel de inclusiones no metálicas normalmente es bajo, pero la naturaleza quebradiza de estos materiales duros todavía conduce al hecho de que algunas propiedades (especialmente tenacidad a la fractura, tenacidad a los impactos y resistencia a la fatiga) de estos materiales sean muy sensibles a estas inclusiones no metálicas. Normalmente, un componente podría tener una dureza y un límite de elasticidad muy altos, pero en el uso práctico, la inclusión mayor establece el límite para la tenacidad a los impactos y la fatiga. Es decir, los materiales de alta calidad actuales encuentran su límite en la cantidad de inclusiones pequeñas, pero todavía existentes, por materia extraña. Las inclusiones actúan como concentraciones de tensión debido a la diferente naturaleza de unión de las inclusiones y el material de microestructura circundante, especialmente si tienen un tamaño que es mayor que otras variaciones de microestructura.

Los carburos en estos materiales multifásicos, tal como se mencionó anteriormente, son muy importantes para la resistencia al desgaste, y el tamaño de los carburos en la microestructura es determinante del nivel de resistencia al desgaste. En primer lugar, un alto nivel de carburos en el material produce una alta resistencia al desgaste. En segundo lugar, cuanto más gruesos son los carburos en el material, mayor es la resistencia al desgaste lograda. Sin embargo, un alto nivel de carburos grandes (gruesos) en la composición también es perjudicial para la tenacidad a la fractura del material. Esto se debe al hecho de que la tenacidad a la fractura máxima de un material se obtiene cuando la microestructura es completamente homogénea, y de que los carburos gruesos en una estructura de este tipo actuarán como una concentración de tensión y por tanto también como un punto de inicio para la fractura. Éste es exactamente el mismo efecto de concentración de tensión que se mencionó anteriormente, cuando las inclusiones eran el problema. Por tanto, se desea producir un material con alto contenido en carburo pero con tamaño de carburo fino, para lograr un material resistente al desgaste que también tenga una tenacidad a la fractura suficientemente alta. Esto es importante tanto con carburos finos, como incluso más importante con un pequeño tamaño del carburo más grande que se encuentra en toda la estructura del componente.

Estos materiales duros y multifásicos descritos anteriormente podrían fabricarse principalmente mediante una ruta convencional, mediante una ruta de fabricación en polvo (PM) o mediante una técnica de sinterización.

En resumen, la manera convencional de producir materiales metálicos es fundir composiciones de elementos entre sí y llenar con ellos lingotes, donde se solidifican. Los lingotes se forjan entonces y se laminan hasta obtener la forma geométrica deseada tal como varillas, barras, láminas, etc. La ruta de PM (ruta de fabricación en polvo (*Powder Manufacturing*)) es un desarrollo de la antigua ruta convencional para producir materiales. En la ruta de PM, el metal fundido de composición deseada se "atomiza" en primer lugar dando lugar a un polvo metálico. Con este polvo metálico se llenan entonces recipientes, que a su vez se están consolidando mediante alta presión y temperatura. Los recipientes consolidados se forjan después y se laminan hasta obtener la forma deseada de la misma manera que un lingote convencional. Puesto que un material de PM es un resultado de lingotes de tamaño de polvo pequeño que se han consolidado dando lugar a un nuevo material, la microestructura del material de PM es más fina, también con un tamaño de carburo más fino. Esto da como resultado un material con mejores propiedades en general, debido a la homogeneidad, a granos y carburos más finos y también es posible producir materiales con la ruta de PM que no pueden producirse mediante la manera convencional.

Se han usado técnicas de sinterización durante mucho tiempo, en las que el objetivo es fabricar componentes de materiales duros. En la sinterización ordinaria, se prensa junto un polvo de material (y a menudo un aglutinante) para formar una "pieza en verde". Esta pieza en verde se coloca entonces en un horno y se realiza un tratamiento térmico (con una temperatura inferior a la temperatura de fusión del material, la temperatura de sólidos).

Un material muy común producido mediante la técnica de sinterización es carburo cementado (*hartmetalle, hårdmetall* (metales duros)), en la que se muele una mezcla de polvo de WC y Co junto con el aglutinante propilenglicol (PEG). Tras esta molienda, se seca por pulverización la mezcla dando lugar a un polvo de aglomerados. Este polvo se prensa dando lugar a piezas en verde y entonces se sinterizan (se tratan térmicamente) dando lugar al material final. El resultado es un material con granos duros de WC unidos entre sí en una matriz de Co. La ventaja de este tipo de material de WC/Co es que tiene una combinación única e dureza y tenacidad, pero las desventajas también son obvias: es necesario un procedimiento de fabricación muy complicado y se necesita una serie de producción muy grande para lograr un precio de componentes bajo. Además, este procedimiento no permite geometrías avanzadas sin un extenso tratamiento posterior, y pese a la tenacidad bastante alta, la tenacidad todavía es demasiado baja para un gran número de aplicaciones.

Las inclusiones en un material son los resultados del procedimiento de producción, la ruta convencional, la ruta de PM o la sinterización. Normalmente, las inclusiones podrían ser residuos pequeños de elementos no deseados procedentes de desechos usados en la fusión del material de partida, partículas procedentes de las paredes del horno que se liberan durante el proceso de fusión, o en particular la oxidación siempre existente de material fundido o caliente durante el procesamiento, o procedente de otras partes del procedimiento de producción.

Las técnicas de sinterización típicas según la técnica anterior tienen todas en común que dan como resultado malas propiedades del material tales como baja pureza, alta porosidad, patrones de solidificación (segregaciones), carburos y nitruros gruesos y microestructura gruesa. Este procedimiento de sinterización normalmente da como resultado un material poroso con contenido en carbono incontrolado, y a menudo también residuos del aglutinante. También es posible realizar la sinterización a temperaturas superiores a la temperatura de sólidos para lograr un material con porosidad inferior, pero en cambio se logra una microestructura más gruesa, debido al largo tiempo de solidificación, y por tanto también carburos y/o nitruros gruesos.

Además, para producir componentes en estos materiales multifásicos duros, los métodos de mecanizado actuales llevan mucho tiempo y consumen mucha energía, y los métodos dan como resultado un gran desgaste de las herramientas usadas. Además, estas operaciones también tienen un inconveniente principal, que es la necesidad de eliminar gran parte del material de calidad total mediante el mecanizado, antes de lograr la conformación final del componente. Es decir, resulta difícil producir un componente en estos materiales, y cuanto más complicada sea la geometría necesaria, más difícil es.

La única manera según la técnica anterior de producir componentes con las propiedades deseadas mencionadas en el presente documento (alto contenido en carbono, bajos niveles de oxígeno, alta pureza, ausencia de porosidad) es usar una barra de material de PM que se ha sometido a HIP (*Hot Isostatic Pressure* (presión isostática en caliente)), se ha forjado y laminado, y mecanizar esta barra hasta obtener la forma deseada. Sin embargo, aunque se usen materiales de PM forjados y laminados, los componentes todavía tendrán algunas inclusiones, y no tendrán el nivel de oxígeno extraordinariamente bajo que se necesita.

En la solicitud de patente internacional publicada WO 03/069004 A1, se da a conocer un acero para herramientas rico en carburo y con alto contenido en cromo. El acero comprende al menos el 0,3% en peso de carbono, un contenido en oxígeno por debajo de 37 ppm y carburos de tamaño de  $\mu\text{m}$ . Los productos se fabrican mediante tecnología de polvo, preferiblemente compactación mediante HIP.

Existen varias técnicas satisfactorias para limpiar los materiales de PM mejorando adicionalmente los procedimientos de producción en polvo, pero sólo existe una técnica para reducir el tremendo contenido en oxígeno hasta los niveles extremadamente bajos, una técnica denominada VIM/VAR. VIM/VAR significa fusión inducida por vacío / refusión por arco en vacío (*Vacuum Inducted Melting/Vacuum Arc Remelted*). En VIM/VAR, se refunde una pieza grande de material de alta pureza mediante corriente eléctrica parásita en vacío, y el procedimiento puede refinar un material ya puro hasta niveles muy limpios. Sin embargo, no es posible usar la técnica para materiales con alto contenido en carburo, donde el objetivo es tener un tamaño de carburo pequeño, puesto que el baño de fusión grande usado conduce a un tiempo de solidificación largo y por tanto a carburos demasiado gruesos en la microestructura y/o alineamientos de carburo.

En la solicitud de patente internacional publicada WO 00/63455, se da a conocer un acero industrial y un componente de cojinete de bolas. Mediante la presencia de molibdeno y un tratamiento térmico especial, se logra una estructura bainítica ultrafina. El acero industrial comprende el 0,9-1,0% en peso de carbono y tiene longitudes de tamaño de carburo de 250 nm, donde los pequeños tamaños de carburo son el resultado del contenido en Si. No se facilita el contenido en oxígeno del acero industrial final.

En la solicitud de patente estadounidense publicada 2002/0139454 A1, se da a conocer un cojinete de bolas y un método para obtener el mismo. En las muestras comparativas presentadas, se presenta acero con un 0,62 y un 0,68% en peso, un contenido en oxígeno de 4 y 9 ppm y longitudes de carburo de 1,13 y 2,15  $\mu\text{m}$ , respectivamente. También se concluye que cuando el contenido en C es demasiado alto, aumenta la cantidad de carburos gruesos, de modo que se deterioran el reposo, la capacidad de mecanizado y la resistencia a la corrosión del mismo. El contenido en C del acero según la invención por tanto no es mayor del 0,6% en peso.

En la solicitud de patente estadounidense publicada 2002/0160223 A1, se da a conocer un cojinete antifricción. El cojinete está fabricado mediante un acero compuesto por el 0,6-0,75% en peso de C, menos de 10 ppm de oxígeno y partículas de carburo eutéctico de 10  $\mu\text{m}$  o menos.

5 En la patente estadounidense 5.156.697, se da a conocer la sinterización láser selectiva de piezas mediante la formación compuesta de polvos precursores. El método sinteriza selectivamente una capa de polvo para producir una pieza que comprende una pluralidad de capas sinterizadas. Se barre con haz de láser sobre una capa de polvo y se enciende el haz para sinterizar sólo el polvo sin límites de una sección transversal deseada de la pieza que va a producirse. Preferiblemente, el polvo comprende una pluralidad de materiales que tienen diferentes temperaturas de disociación o  
10 unión.

### Sumario

15 Un objeto general de la presente invención es permitir la producción de un material de matriz metálica limpio con alta dureza y alto contenido en carburo de carburos finos que también está extremadamente limpio de gases e inclusiones metálicas. Un objeto adicional de la presente invención es proporcionar métodos eficaces para formar objetos de tal material.

20 Los objetos mencionados anteriormente se logran mediante materiales y métodos de fabricación según las reivindicaciones de patente adjuntas. El objeto general se logra mediante las reivindicaciones independientes. Se especifican realizaciones útiles de la invención mediante las reivindicaciones independientes. En términos generales, en un primer aspecto, un material multifásico metálico comprende una matriz metálica, carburos incorporados en la matriz metálica. Un tamaño máximo de los carburos es inferior a 20  $\mu\text{m}$ . El material multifásico metálico tiene un contenido en carbono en el intervalo del 0,8% en peso al 3,5% en peso y un contenido en oxígeno inferior a 30 ppm en peso.

25 En un segundo aspecto, un método para fabricar un material multifásico metálico comprende proporcionar un polvo de un material multifásico metálico inicial. El material multifásico metálico inicial comprende una matriz metálica en la que están incorporados carburos. El material multifásico metálico inicial tiene un contenido en carbono en el intervalo del 0,8% en peso al 3,5% en peso.

30 El polvo del material multifásico metálico inicial se coloca en un entorno libre de oxígeno. El polvo del material multifásico metálico inicial se funde localmente en una primera parte exponiendo la primera parte del polvo del material multifásico metálico inicial a un haz de energía durante un primer periodo de tiempo. La fusión local permite que al menos una parte del contenido en oxígeno del material multifásico metálico inicial fundido reaccione con carbono del material multifásico metálico inicial fundido dando lugar a óxidos de carbono, dando un material multifásico metálico final en la primera parte que tiene un contenido en oxígeno inferior a 30 ppm en peso y que tiene un tamaño máximo de dichos carburos inferior a 20  $\mu\text{m}$ . Entonces se solidifica el material multifásico metálico final.

35 En un tercer aspecto, un método para fabricar un objeto de un material multifásico metálico fabricado según el segundo aspecto comprende que cuando el polvo del material multifásico metálico inicial se coloca en un entorno libre de oxígeno, se proporciona una capa delgada del material multifásico metálico inicial. La repetición de la fusión y la solidificación comprende mover el haz de energía sobre una zona de la capa delgada fundiendo y solidificando el material multifásico metálico inicial en la zona dando lugar a un cuerpo común.

45 Una ventaja de la presente invención es que permite la producción de un material limpio con bajo contenido en oxígeno con una estructura de carburo fino directa a partir de un polvo de material con composición especificada. Además, la técnica también permite la producción de forma libre directa a partir de polvo metálico de materiales multifásicos duros, que podrían usarse especialmente para la producción de geometrías muy complejas.

### 50 Breve descripción de los dibujos

La invención, junto con objetos y ventajas adicionales de la misma, puede entenderse mejor haciendo referencia a la siguiente descripción tomada junto con los dibujos adjuntos, en los que:

55 La figura 1A ilustra un diagrama de flujo de etapas de una realización de un método según la presente invención;

la figura 1B ilustra un diagrama de flujo de etapas de otra realización de un método según la presente invención;

60 la figura 2 muestra una sección transversal esquemática de una realización de una disposición que podría usarse para producir productos según la presente invención;

la figura 3 muestra una sección transversal esquemática de otra realización de una disposición que podría usarse para producir productos según la presente invención, en la que el nuevo material se añade encima de detalles ya producidos previamente; y

65 la figura 4A-D muestra esquemáticamente objetos que tienen superficies negativas y/o canales.

Descripción detallada

A lo largo de los dibujos, se usan los mismos números de referencia para elementos similares o correspondientes.

5 El crecimiento de carburos tiene lugar durante la solidificación del material metálico fundido. Con el fin de limitar el crecimiento de carburos, tiene que limitarse el tiempo invertido para la solidificación. El tiempo para calentar un volumen de material puede acortarse fácilmente exponiendo el volumen a una fuente de alta energía. La velocidad de enfriamiento, sin embargo, está determinada en gran parte por la simple conducción térmica hasta volúmenes de una temperatura más fría y por supuesto por la temperatura de tal volumen más frío. Un objeto pequeño es más fácil de enfriar que un objeto grande, debido a que la conducción térmica tiene que realizarse a lo largo de distancias más largas en un cuerpo grande. Al fundir localmente una parte de un cuerpo a la vez normalmente se dará como resultado por tanto que disminuye el tiempo invertido para la solidificación. La fusión local puede proporcionarse entonces a todas las partes del objeto, de manera separada en el tiempo. Puesto que existen principios de calentamiento que operan con flujos de energía muy concentrados, no hay problemas para conseguir la fusión local de volúmenes de pequeño tamaño.

15 El material inicial del volumen destinado a fundirse tiene que estar fácilmente disponible para la operación de calentamiento y esto se facilita si el material inicial se proporciona en forma de polvo o lámina. En la presente invención, se utiliza polvo como material de partida. Mediante la refusión de un polvo atomizado de un material multifásico parte por parte, el tiempo que cada parte invierte en alcanzar temperaturas que potencien la difusión es limitado. Se permite entonces que la parte fundida localmente solidifique muy rápidamente y que se enfríe hasta una temperatura en la que la difusión es insignificante o al menos lenta. Esto significa que por ejemplo los carburos tendrán posibilidades muy limitadas de crecer. Al mismo tiempo, la parte fundida puede unirse a otra parte ya solidificada del cuerpo final, creando un cuerpo tridimensional posiblemente sólido.

25 Además, mediante la refusión de polvo metálico atomizado en una cámara de vacío u otro entorno libre de oxígeno, se palió la oxidación adicional. Un entorno libre de oxígeno de este tipo también podría ser por ejemplo un gas inerte tal como Ar o N<sub>2</sub>. Por el contrario, mediante la refusión de polvo metálico atomizado, que tiene un contenido en C relativamente alto, en una cámara de vacío, se logra una reacción química entre el carbono unido al metal y el oxígeno, que se usa para refinar adicionalmente el material de oxígeno. La reacción principal típica produce monóxido carbono, ( $C_{\text{metal}} + O_{\text{metal}} \rightarrow CO_{\text{gas}}$ ), sin embargo, también pueden producirse otros óxidos de carbono. De ese modo se reduce el contenido en oxígeno incluso en comparación con el contenido en oxígeno del polvo. La posición exacta de esta reacción química depende de la composición exacta y del contenido en C. De ese modo de logra un efecto sinérgico con la fusión local del polvo.

35 La presente invención se refiere en general a material multifásico metálico que tiene una matriz metálica. Preferiblemente, la matriz metálica es una base de Fe, Co y/o Ni. Lo más común es Fe, con el que se han realizado una serie de experimentos. Se usa Co como matriz por ejemplo para diferentes satélites, que si contienen cantidades relativamente grandes de carbono se comportarán de una manera similar a la de los materiales de matriz de Fe. Los materiales de matriz de Ni, en particular en combinación con Cr también son de potencial interés para su producción según los principios de la presente invención.

45 En todos los casos, los carburos están incorporados en la matriz. Con el fin de lograr una alta tenacidad a la fractura del material, el tamaño máximo de los carburos debe ser inferior a 20  $\mu\text{m}$ . La medida del tamaño se define como una distancia máxima entre dos puntos arbitrarios en el grano de carburo respectivo. La cantidad de carburos también debe ser suficientemente alta para garantizar un límite de elasticidad y una dureza muy altos, y por tanto, el material multifásico metálico debe tener un contenido en carbono en el intervalo del 0,8% en peso al 3,5% en peso y lo más preferiblemente en el intervalo del 0,9% en peso al 2,5% en peso. Este contenido en carbono también se usará en una pequeña parte para reducir el contenido en oxígeno durante la fabricación. Mediante las ideas de fabricación presentadas mediante fusión local, el material multifásico metálico puede obtener un contenido en oxígeno inferior a 30 ppm en peso.

50 Tal como se mencionó anteriormente, se han realizado diferentes ensayos en diversos polvos metálicos de acero rápido. Un ejemplo típico se presentará en el presente documento más adelante. Sin embargo, el alcance de la presente invención no debe limitarse a esta realización, que sólo se presenta como un ejemplo típico de un material que puede producirse. En esta realización particular, se ha usado un polvo metálico de acero rápido, que contiene aproximadamente el 2,2 – 2,4% en peso de C y otros elementos de aleación y Fe como matriz de base, en una máquina de fabricación aditiva de fusión por haz de electrones a vacío ARCAM A2. Tales métodos se tratarán en mayor detalle adicionalmente más adelante. Esta máquina de producción se usó en una serie de ensayos para fabricar varias conformaciones y geometrías diferentes de componentes. En un ensayo particular, se produjeron simultáneamente un gran número de barras de ensayo con las dimensiones de 8 x 11 x 55 mm. Los ensayos se repitieron con diferentes parámetros individuales en la máquina, dependiendo del tipo de capa de polvo que se fundiera y del intercambio de calor presente con la cámara y la placa de construcción. En particular, algunos de los procesos tuvieron lugar a temperatura elevada en los componentes para minimizar la tensión residual inducida térmica durante la construcción. Se encontró que una temperatura de aproximadamente 800°C era suficientemente baja para prohibir demasiado crecimiento de carburo en los materiales sometidos a ensayo. El resultado fue un material con carburos bien distribuidos con un tamaño máximo inferior a 20  $\mu\text{m}$  en una estructura de matriz metálica. El contenido en oxígeno de estas barras fue inferior a 30 ppm.

La figura 1A ilustra un diagrama de flujo de etapas de una realización de un método según la presente invención. El método para fabricar un material multifásico metálico se inicia en la etapa 200. En la etapa 210, se proporciona un material en polvo de un material multifásico metálico inicial. El material multifásico metálico inicial comprende una matriz metálica en la que están incorporados carburos. El material multifásico metálico inicial tiene además un contenido en carbono superior al 0,6% en peso. El polvo del material multifásico metálico inicial se coloca en la etapa 220 en un entorno libre de oxígeno. El polvo del material multifásico metálico inicial se funde localmente en una primera parte en la etapa 230. Esto se realiza exponiendo la primera parte del polvo del material multifásico metálico inicial a un haz de energía durante un primer periodo de tiempo. La fusión local permite que al menos una parte del contenido en oxígeno del material multifásico metálico inicial fundido reaccione con carbono del material multifásico metálico inicial fundido. La reacción produce óxidos de carbono, normalmente monóxido de carbono. La reacción da como resultado un material multifásico metálico final en la primera parte que tiene un contenido en oxígeno inferior a 50 ppm en peso. En la etapa 240, se solidifica el material multifásico metálico final. El método termina en la etapa 299.

La técnica de fabricación descrita anteriormente también tiene la ventaja de que puede utilizarse directamente en el procedimiento de formación de un objeto final. Una realización de una técnica de fabricación presentada en el presente documento más adelante se basa en la formación libre o la fabricación aditiva, que son nombres comunes para una técnica de producción en la que se produce un componente directo a partir polvo de material que fluye libremente o un hilo de material, en lugar de mecanizar una barra forjada y laminada, tal como se describió anteriormente. La formación libre podría realizarse de varias maneras diferentes, dependiendo principalmente de qué material se necesite, pero también de la conformación y el tamaño del componente que va a construirse.

La formación libre se asocia a menudo actualmente con la fabricación de prototipos, puesto que los componentes producidos han sido principalmente para prototipos de baja calidad de material. Las técnicas de formación libre se han desarrollado altamente en los últimos años y actualmente existe tanto la formación libre de materiales poliméricos como metálicos en series mayores de calidad suficiente en varias aplicaciones específicas.

Un tipo de formación libre de materiales metálicos es cuando se usa un haz de láser como fuente de calor para fundir capas de polvo en una atmósfera controlada. Empresas típicas que realizan esto son EOSINT y Concept Laser. Otro tipo de formación libre de materiales metálicos se realiza mediante un haz de electrones como fuente de calor, que funde capas de polvo metálico a vacío (EBM). Esta técnica se ha desarrollado y patentado por Arcam AB [Ref 1.]. Por ejemplo, la técnica de EBM también se ha patentado para construir materiales amorfos [Ref 2]. En esta patente, la tecnología de EBM se usa para el tiempo de solidificación muy rápido en combinaciones de elementos especiales, lo que conduce a una microestructura amorfa (o de grano muy pequeño).

La idea de someter a ensayo la técnica de EBM para la formación libre de materiales con alto contenido en carbono a vacío no fue obvia y se observaron varios problemas posibles.

En primer lugar, es importante darse cuenta de que un largo tiempo de proceso a alta temperatura normalmente conduce a un crecimiento de grano y un crecimiento de carburo en un material. En la técnica de EBM, el tiempo de solidificación es muy corto, pero la técnica también requiere una alta temperatura de todo el componente durante el proceso. Se esperaba que esta alta temperatura de proceso durante un largo tiempo de construcción conduciría a una microestructura gruesa con carburos gruesos.

En segundo lugar, se esperaba que el uso de la técnica de EBM en estos tipos de polvo metálico que siempre contienen nitrógeno (residuos del proceso de atomización con gas del polvo), conduciría a burbujeo de gas nitrógeno cuando el haz de electrones funde el polvo, y que este burbujeo de gas conduciría a porosidad en el material tras la solidificación.

Para evitar estos problemas esperados difíciles, se ha ajustado la técnica de EBM y se ha desarrollado el proceso para adecuarse a los polvos con alto contenido en C. Esta técnica se describe en las reivindicaciones siguientes en esta patente.

Esta patente describe un material producido mediante un método, en el que se usan polvos que fluyen libremente en una máquina de formación libre de EBM, donde podrían producirse detalles tridimensionales completa o parcialmente en materiales duros y multifásicos.

Como alternativa a EBM, también pueden emplearse métodos que utilizan calentamiento por láser.

La figura 1B ilustra un diagrama de flujo de etapas de otra realización de un método según la presente invención. El método para fabricar un objeto de un material multifásico metálico se inicia en la etapa 201. Este método comprende todas las etapas 210, 220, 230 y 240 del método para fabricar un material multifásico metálico de la figura 1A. La etapa 220 comprende en esta realización una etapa 221 en la que se proporciona una capa delgada del material multifásico metálico inicial en el entorno libre de oxígeno. Además, se proporciona una etapa adicional 250 de repetición de las etapas de fusión 230 y solidificación 240 para partes adicionales del material multifásico metálico inicial. La etapa 250 también comprende una subetapa 251 en la que el haz de energía se mueve sobre una zona de la capa delgada. Esto da como resultado que el material multifásico metálico inicial se funde y se solidifica en esa zona dando lugar a un cuerpo

sólido común. Preferiblemente, el procedimiento se repite desde la etapa 220 tal como se indica mediante la flecha 260 de línea discontinua hasta que se logra un objeto completo. El método finaliza en la etapa 298.

5 La figura 2 describe una realización de una configuración de una disposición 99 de máquina posible para su uso para producir componentes u objetos en este nuevo material. La disposición 99 de máquina comprende una mesa 1 de trabajo ajustable, que puede moverse verticalmente y colocada dentro de un compartimento 2. La posición vertical de la mesa 1 de trabajo podría ser cualquiera y normalmente se controla mediante un tornillo 3 y una tuerca 4 de tornillo. Un recipiente 18 que contiene polvo está dispuesto para añadir polvo a la parte superior de la presente construcción. Un rastrillo 5 de polvo está dispuesto para poderse mover, tal como se indica mediante la flecha 14, hacia delante y hacia atrás en un conducto 6 sobre la mesa 1 de trabajo. El recipiente 18 que contiene polvo comprende polvo de un material multifásico metálico inicial. Durante el movimiento del rastrillo 5 de polvo, el rastrillo 5 de polvo distribuye las capas 7 de polvo metálico encima de cualquier estructura presente sobre la mesa 1 de trabajo.

15 Un cañón 9 de haz de energía, que podría ser por ejemplo una pistola láser o de electrones, genera un haz 8 de energía de alta densidad de energía. El haz 8 de energía puede ser, por tanto, por ejemplo un haz de láser o un haz de electrones o una combinación de los mismos. Una unidad 10 de control de haz enfoca y posiciona el haz 8 de energía hacia un punto 15 particular en la parte superior de las capas 7 de polvo. Un ordenador de control (no mostrado en la figura) controla la mesa 1 de trabajo, el movimiento y la distribución mediante el rastrillo 5 de polvo, el haz 8 de energía y la unidad 10 de control de haz. El ordenador de control puede mover de ese modo, tal como se indica mediante la flecha 16, el punto 15 sobre la superficie de las capas 7 de polvo metálico. La fusión y la solidificación siguiente se repiten de ese modo para partes adicionales del material multifásico metálico inicial de la capa 7 de polvo. Al mismo tiempo, el enfoque y la densidad de energía del haz 8 de energía pueden variarse casi arbitrariamente. Se pretende que el haz 8 de energía produzca la fusión local del polvo 7 metálico en el punto 15, y cuando el haz 8 de energía se mueve sobre la superficie, se acumula sucesivamente un componente 11 sólido del material multifásico metálico. El ordenador de control tiene información sobre las medidas y geometrías del componente 11 en construcción, y para cada capa de polvo controla el calentamiento/fusión del haz de energía basándose en esta información. Cuando todas las piezas de la superficie de polvo 7 metálico que deben integrarse en el objeto que va a fabricarse se funden y se solidifican y se unen de ese modo a un cuerpo común del componente 11 producido, el recipiente 18 que contiene polvo libera nuevo material multifásico metálico inicial y el rastrillo 5 de polvo se mueve de nuevo sobre la mesa 1 de trabajo, distribuyendo una nueva capa de polvo metálico. La fusión y la solidificación locales se reiteran sobre la capa de material multifásico metálico inicial colocada sobre el cuerpo común. Esta reiteración produce una elevación sucesiva para la formación de un objeto o componente 11 tridimensional.

35 Todas las piezas de esta disposición 99 de máquina están colocadas dentro de una cámara 12, en la que podría mantenerse un entorno 17 libre de oxígeno, por ejemplo vacío, durante el procedimiento de producción mediante el uso de la válvula 13. El grado de vacío tiene que ser suficientemente bueno para garantizar que no hay oxidación adicional sustancial del objeto que va a fabricarse. Alternativamente, la cámara 12 podría llenarse con una atmósfera de un gas inerte.

40 En una realización alternativa, el movimiento del haz de energía podría producirse por medios mecánicos, controlados preferiblemente mediante el ordenador de control.

45 La temperatura del componente es importante, tal como se indicó anteriormente. Durante el tiempo principal de la fabricación, cada parte del componente debe mantenerse a una temperatura suficientemente baja para limitar la difusión y limitar de ese modo el crecimiento de carburos. Sin embargo, con el fin de obtener una buena adhesión del material fundido al cuerpo tridimensional común, la temperatura no debe ser demasiado fría. La temperatura del cuerpo en construcción puede mantenerse a una temperatura ligeramente elevada. Tales temperaturas no deben dar lugar, sin embargo, a ningún crecimiento grave de carburo durante el periodo de fabricación. Tales parámetros para una temperatura optimizada dependen fuertemente de muchos factores, tales como el tiempo de fabricación total, la energía del haz, el tamaño del haz, la composición del material, el tamaño del cuerpo, la forma del cuerpo, etc. Puede obtenerse una temperatura de sustrato superior, al menos en la superficie, barriendo el haz de energía sobre la superficie de las capas de polvo para el precalentamiento del polvo, antes de que tenga lugar la fusión local real. Un método alternativo es proporcionar por ejemplo el calentamiento eléctrico de la mesa de trabajo. Puede lograrse una temperatura de sustrato inferior de manera similar enfriando la mesa de trabajo. De ese modo, el material multifásico metálico final puede enfriarse *in situ* al menos durante la solidificación tras la fusión local. Además, puesto que se prefiere que el componente fabricado completo se mantenga en una atmósfera libre de oxígeno hasta que se haya enfriado hasta temperaturas significativamente inferiores a la temperatura de producción, también es beneficioso poder enfriar el material multifásico metálico final *in situ* una vez finalizado todo el procedimiento de fabricación.

60 La figura 3 muestra otra realización de una disposición 99 de máquina que puede usarse para la fabricación según la presente invención. En esta realización, se colocan los detalles 11A producidos previamente sobre la mesa 1 de trabajo. Los detalles 11A producidos previamente podrían ser un material de base de cualquier tipo obtenido en otro procedimiento, puede ser un material de base con otra composición, o también pueden ser por ejemplo herramientas desgastadas que deben reconstruirse. En esta realización, los detalles 11A producidos previamente se colocan por tanto sobre la mesa de trabajo antes de que se inicie el procedimiento y se llena con material el volumen hasta el nivel del primer punto para añadir nuevo material, normalmente el polvo metálico. Entonces se añade el nuevo material 11B encima del sus-

trato ya existente. En otras palabras, se coloca el polvo encima de un objeto de soporte sólido, en el que el cuerpo común producido llega a unirse al objeto de soporte. Este objeto de soporte podría ser entonces por ejemplo un objeto que ha de repararse. En una realización de este tipo, el ordenador de control también podría conocer la posición y los parámetros del material del detalle 11A producido previamente.

5 Las realizaciones de las figuras 2 y 3 también pueden utilizar las mismas técnicas para formar componentes con superficies negativas. Un ejemplo de superficie negativa se muestra en la figura 4A. La mesa 1 de trabajo se muestra con un componente 11 en construcción encima. Este componente 11 tiene una superficie 21 negativa. Una superficie negativa se caracteriza porque una normal a la superficie se dirige hacia abajo dando lugar a un volumen por debajo de la superficie que no comprende el mismo material que el construido en el componente 11, es decir normalmente polvo metálico no fundido. El método para crear tales superficies negativas incluye un procedimiento en el que la zona sobre la que se mueve el haz de energía para una iteración cubre posiciones horizontales que no se cubren en una zona correspondiente por una iteración previa. De esta manera, puede crearse cualquier conformación de una superficie exterior. La posibilidad de crear una superficie negativa permite fabricar detalles que tienen superficies conformadas con direcciones normales a la superficie que difieren en más de 180 grados.

Por tanto, también pueden formarse satisfactoriamente orificios y canales mediante esta técnica, tal como se ilustra en la figura 4B. El componente 11 de esta realización comprende un canal 22 interno. El canal se forma, tal como se ilustra en sección transversal en la figura 4C, adaptando sucesivamente la zona en la que se funde el polvo para construir en primer lugar una superficie 23 positiva curvada. El canal 22 se cubre entonces por una superficie 24 negativa curvada. Tales canales se usan ventajosamente por ejemplo para transportar medios de enfriamiento o calentamiento en el objeto durante el uso final. La figura 4D ilustra esquemáticamente diferentes capas 25 que construyen juntas la superficie del canal.

25 Cuando se usa la técnica descrita para construir el nuevo material, también debe ser obvio que la técnica permite la construcción de varios componentes (del mismo tipo o de tipos diferentes) en la misma cámara durante la misma ejecución. Sólo depende del ordenador de control determinar dónde construir y es obvio que puede ser de uno o varios componentes diferentes.

30 El nuevo material producido con esta técnica podría usarse para cualquier tipo de detalle o componente. También es obvio que los componentes producidos también pueden recubrirse, en una etapa de procedimiento posterior, con cualquier tipo de recubrimiento mediante PVD o CVD adecuado.

35 Las realizaciones descritas anteriormente han de entenderse como algunos ejemplos ilustrativos de la presente invención. Los expertos en la técnica entenderán que pueden realizarse diversas modificaciones, combinaciones y cambios a las realizaciones sin apartarse del alcance de la presente invención. En particular, pueden combinarse diferentes soluciones de piezas en las diferentes realizaciones en otras configuraciones, cuando sea técnicamente posible. El alcance de la presente invención está definido, sin embargo, por las reivindicaciones adjuntas.



## REIVINDICACIONES

1. Material multifásico metálico que comprende:  
 una matriz metálica;  
 5 carburos incorporados en dicha matriz metálica;  
 siendo un tamaño máximo de dichos carburos inferior a 20  $\mu\text{m}$ ;  
 teniendo dicho material multifásico metálico un contenido en carbono en el intervalo del 0,8% en peso al 3,5%  
 en peso,  
**caracterizado porque**  
 10 dicho material multifásico metálico tiene un contenido en oxígeno inferior a 30 ppm en peso.
2. Material multifásico metálico según la reivindicación 1, **caracterizado porque** dicha matriz metálica es a base de al menos uno de Fe, Co y Ni.
- 15 3. Material multifásico metálico según la reivindicación 2, **caracterizado porque** dicha matriz metálica es a base de Fe.
4. Material multifásico metálico según la reivindicación 2, **caracterizado porque** dicha matriz metálica es a base de Co.  
 20
5. Material multifásico metálico según la reivindicación 2, **caracterizado porque** dicha matriz metálica es a base de Ni.
6. Material multifásico metálico según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado por** un contenido en carbono en el intervalo del 0,9% en peso al 2,5% en peso.  
 25
7. Método para fabricar un material multifásico metálico, que comprende la etapa de:  
 proporcionar (210) un polvo de un material multifásico metálico inicial;  
 comprendiendo dicho material multifásico metálico inicial una matriz metálica en la que están incorporados  
 30 carburos;  
 teniendo dicho material multifásico metálico inicial un contenido en carbono en el intervalo del 0,8% en peso al 3,5% en peso,  
**caracterizado por** las etapas adicionales de:  
 colocar (220) dicho polvo de dicho material multifásico metálico inicial en un entorno libre de oxígeno;  
 35 fundir (230) dicho polvo de dicho material multifásico metálico inicial localmente en una primera parte exponiendo dicha primera parte de dicho polvo de dicho material multifásico metálico inicial a un haz de energía durante un primer periodo de tiempo;  
 comprendiendo a su vez dicha fusión local la etapa de reducir el contenido en oxígeno de un material multifásico metálico final en dicha primera parte a menos de 30 ppm en peso permitiendo que al menos una parte del contenido en oxígeno de dicho material multifásico metálico inicial fundido reaccione con carbono de dicho material multifásico metálico inicial fundido dando lugar a óxidos de carbono;  
 40 solidificar (240) dicho material multifásico metálico final para dar a dicho material multifásico metálico final un tamaño máximo de dichos carburos inferior a 20  $\mu\text{m}$ .
- 45 8. Método según la reivindicación 7, **caracterizado porque** dicho haz de energía es al menos uno de un haz de electrones y un haz de láser.
9. Método según la reivindicación 7 u 8, **caracterizado por** la etapa adicional de repetir (250) dicha etapa de fundir (230) y dicha etapa de solidificar (240) para partes adicionales de dicho material multifásico metálico inicial.  
 50
10. Método para fabricar un objeto de un material multifásico metálico fabricado según la reivindicación 9, **caracterizado porque**  
 dicha etapa de colocar (220) dicho polvo de dicho material multifásico metálico inicial en un entorno libre de oxígeno comprende proporcionar (221) una capa delgada de dicho material multifásico metálico inicial; y  
 55 dicha etapa de repetir (250) dicha etapa de fundir y dicha etapa de solidificar comprende mover (251) dicho haz de energía sobre una zona de dicha capa delgada fundiendo y solidificando dicho material multifásico metálico inicial en dicha zona dando lugar a un cuerpo común.
11. Método según la reivindicación 10, **caracterizado por** reiterar dicha etapa de colocar (220) dicho polvo y dicha etapa de repetir (250), en el que dicho polvo de dicho material multifásico metálico inicial se coloca sobre dicho cuerpo común, formando de ese modo un objeto tridimensional.  
 60
12. Método según la reivindicación 11, **caracterizado porque** una primera de dicha etapa de colocar (220) dicho polvo comprende colocar dicho polvo encima de un objeto de soporte sólido, en el que dicho cuerpo común llega a unirse a dicho objeto de soporte.  
 65

13. Método según la reivindicación 11, **caracterizado porque** dicha zona sobre la que se mueve dicho haz de energía para una iteración cubre partes horizontales que no se cubren en una zona correspondiente por una iteración previa.
- 5 14. Método según la reivindicación 13, **caracterizado por** crear canales para transportar medios de enfriamiento o calentamiento en dicho objeto.

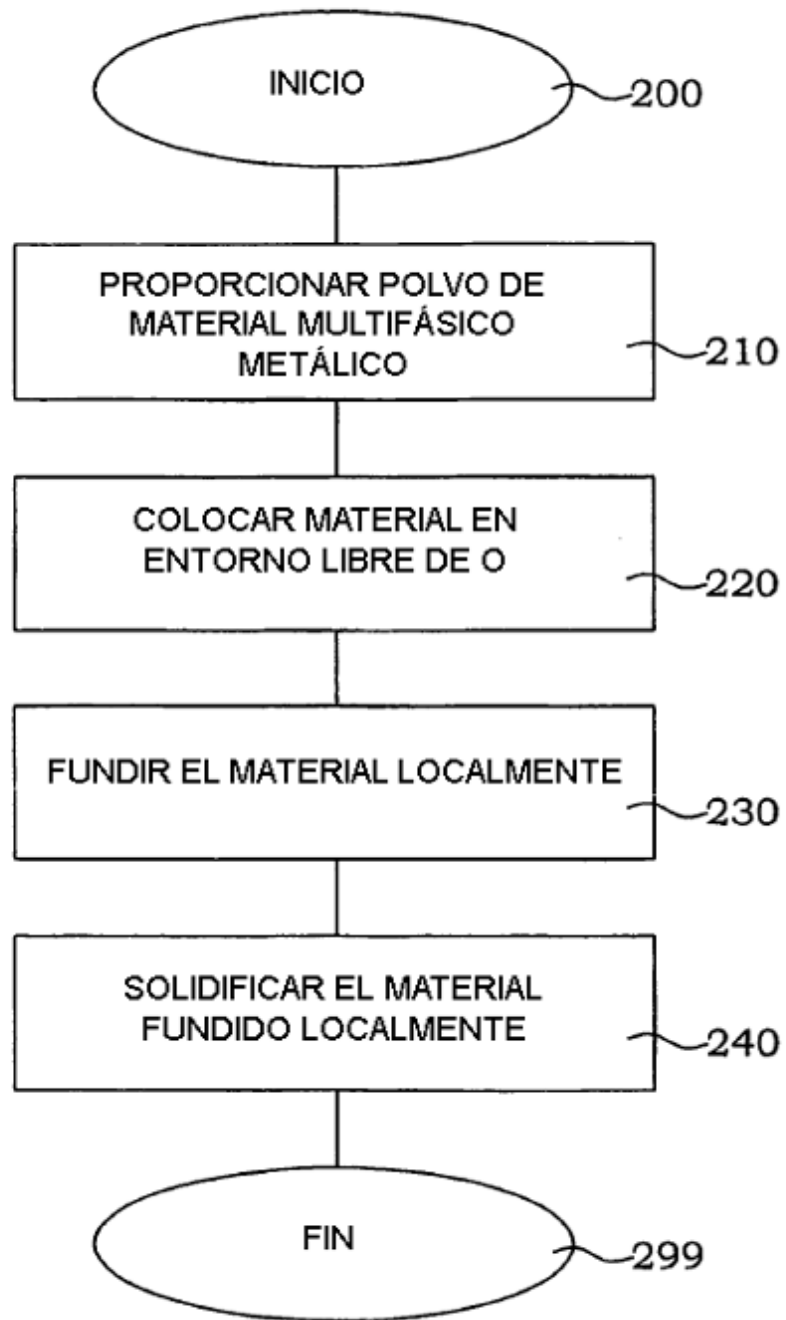


Fig. 1A

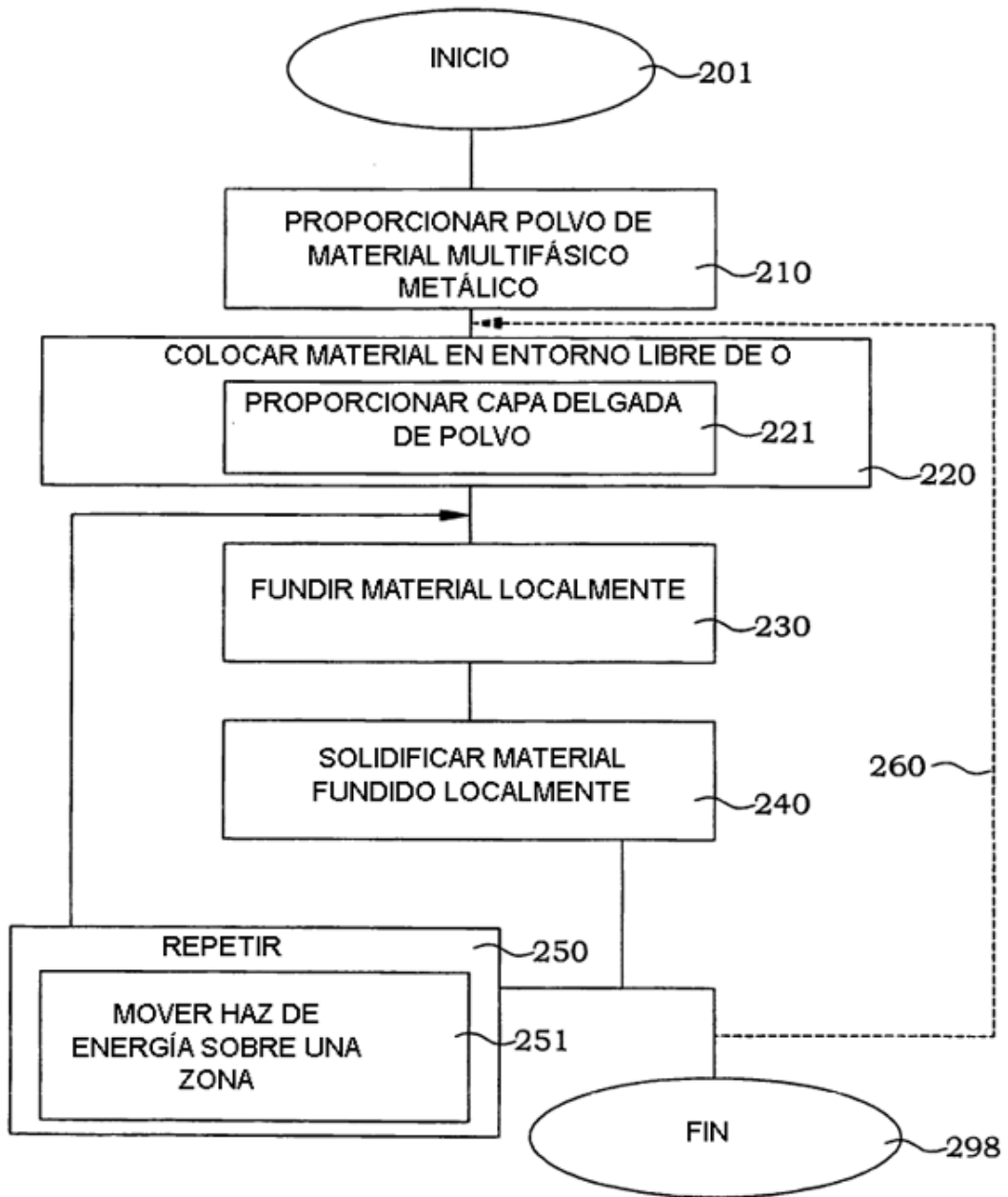


Fig. 1B

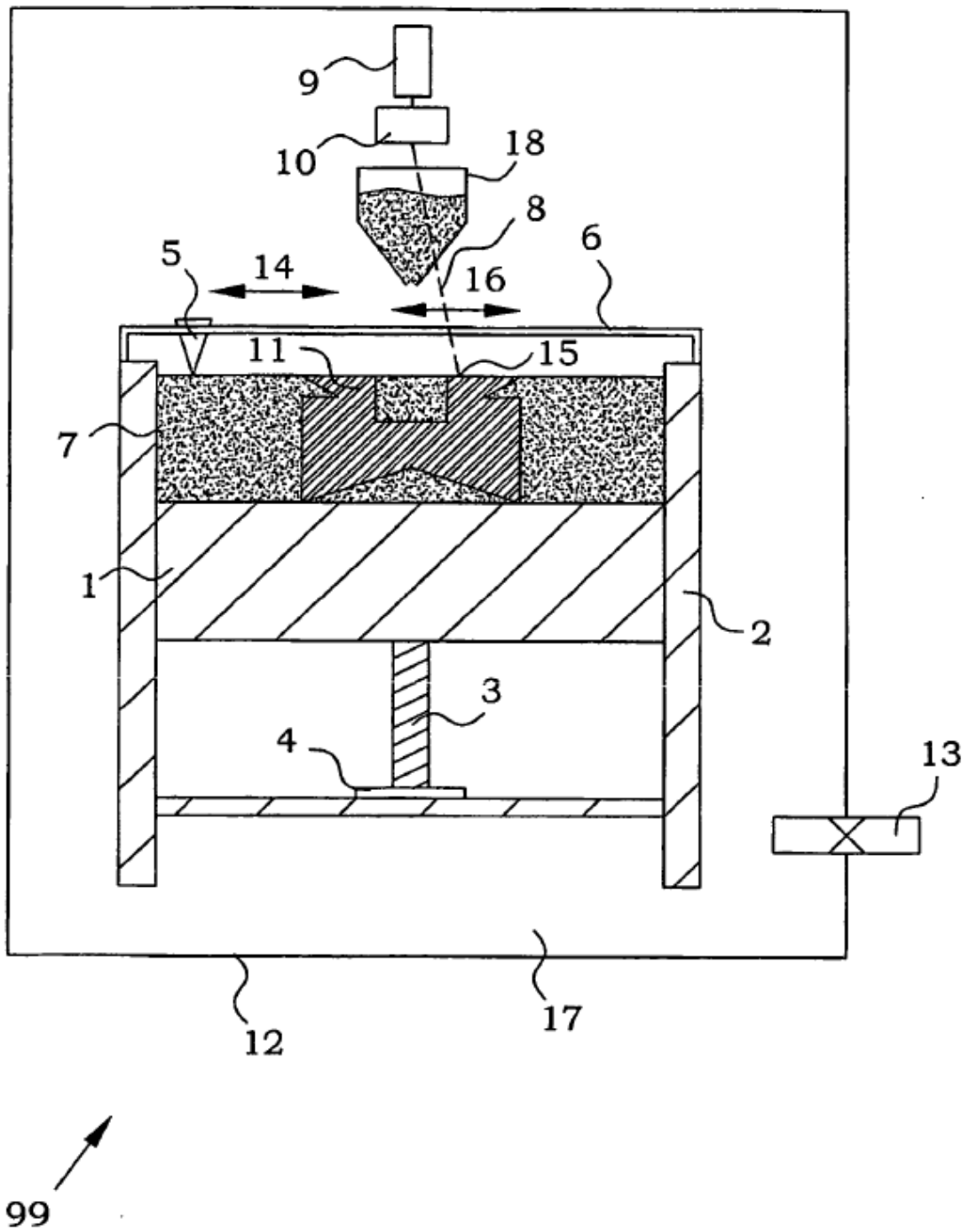


Fig. 2

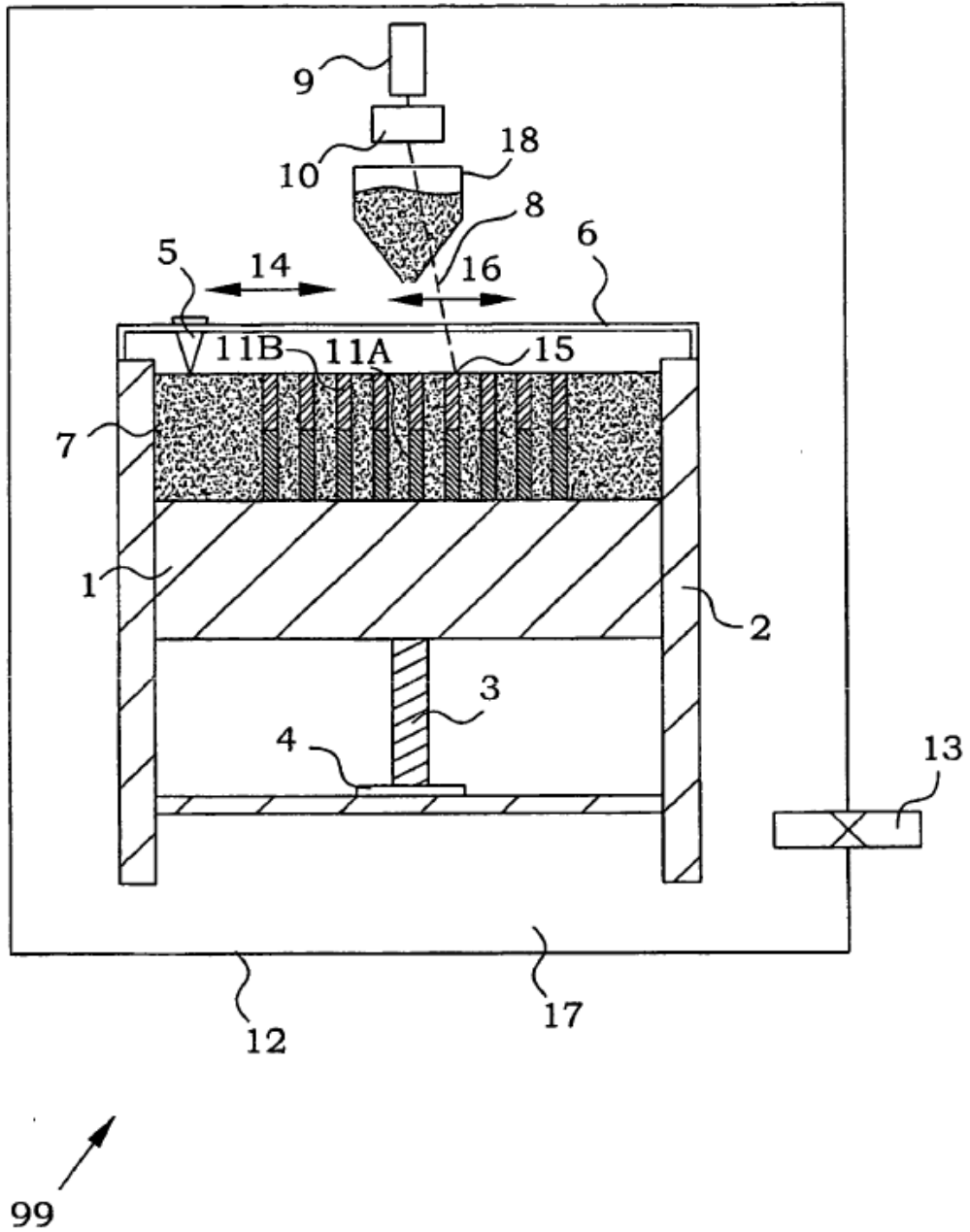


Fig. 3

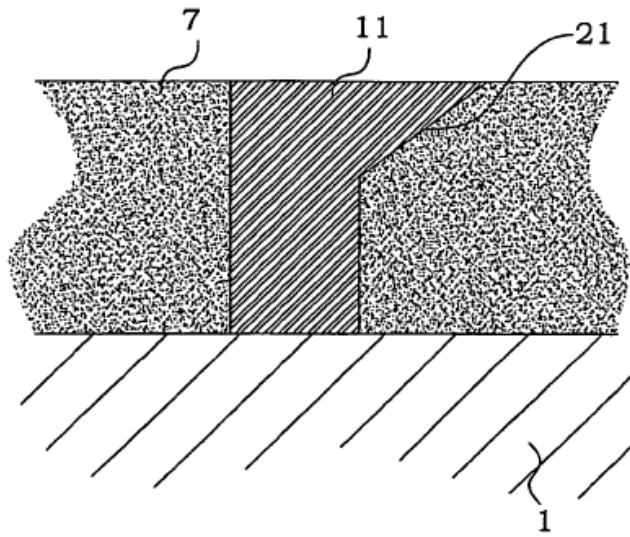


Fig. 4A

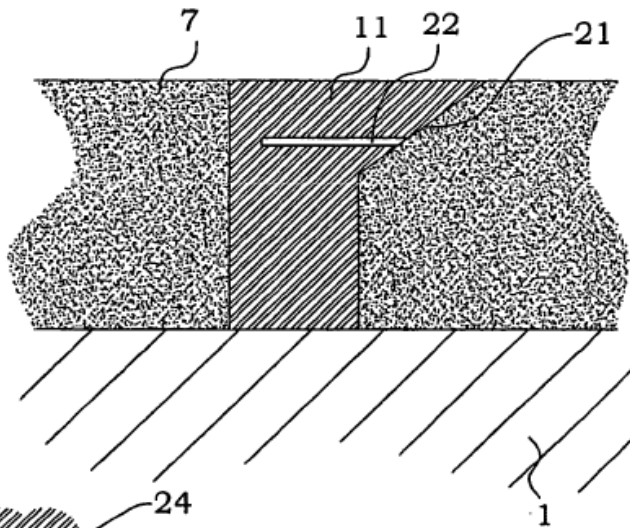


Fig. 4B

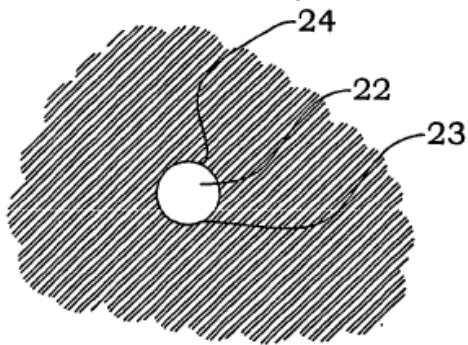


Fig. 4C

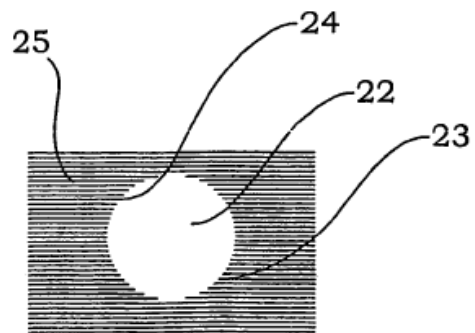


Fig. 4D