

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 564 850**

51 Int. Cl.:

B22F 3/105 (2006.01)

B23K 26/34 (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.03.2012 E 12719468 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.12.2015 EP 2691197**

54 Título: **Método y disposición para construir objetos metálicos mediante fabricación de sólidos de forma libre**

30 Prioridad:

31.03.2011 GB 201105433

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

29.03.2016

73 Titular/es:

**NORSK TITANIUM AS (100.0%)
Sommerrogaten 13-15
0255 Oslo, NO**

72 Inventor/es:

STEMPFER, FERDINAND

74 Agente/Representante:

LAZCANO GAINZA, Jesús

ES 2 564 850 T3

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

DESCRIPCIÓN

Método y disposición para construir objetos metálicos mediante fabricación de sólidos de forma libre

Esta invención se refiere a un método y una disposición para la fabricación de objetos mediante la fabricación de sólidos de forma libre, especialmente objetos de titanio y aleaciones de titanio.

5 Antecedentes

Las partes metálicas estructuradas hechas de titanio o de aleaciones de titanio se hacen convencionalmente por fundición, forja o mecanizado a partir de un lingote. Estas técnicas tienen la desventaja de alto uso del material del costoso metal de titanio y de grandes tiempos de espera en la fabricación.

10 Objetos físicos totalmente densos pueden ser hechos por una tecnología de fabricación conocida como prototipado rápido, fabricación rápida, fabricación por capas o fabricación aditiva. Esta técnica emplea el software de diseño asistido por ordenador (CAD) para construir primero un modelo virtual del objeto que se va a hacer, y luego transformar el modelo virtual en cortes paralelos delgados o capas, por lo general orientadas horizontalmente. El objeto físico puede entonces ser hecho asentando las sucesivas capas de materia prima en forma de pasta líquida o en polvo o material en hoja que se asemeja a la forma de las capas virtuales hasta que se forma todo el objeto. Las capas se fusionan entre sí para formar un objeto denso sólido. En caso de depósito de materiales sólidos que se funden o se sueldan juntos, la técnica también se denomina como fabricación de sólidos de forma libre.

15 La fabricación de sólidos de forma libre es una técnica flexible que permite la creación de objetos de casi cualquier forma en velocidades de producción relativamente rápidas, por lo general varía de algunas horas a varios días para cada objeto. La técnica es por lo tanto adecuada para la formación de prototipos y series de producción pequeñas, pero menos adecuada para la producción a gran volumen.

20 Estado de la técnica

La técnica de fabricación por capas puede ser ampliada para incluir la deposición de piezas de material de construcción, es decir, cada capa estructural del modelo virtual del objeto se divide en un conjunto de piezas que cuando el lado previsto se coloca al lado del otro forman la capa. Esto permite la formación de objetos metálicos por soldadura de un alambre sobre un sustrato en franjas sucesivas que forman cada capa de acuerdo con el modelo de capas virtuales del objeto, y repitiendo el proceso para cada capa hasta que se forma todo el objeto físico. La precisión de la técnica de soldadura es generalmente demasiado gruesa para permitir directamente la formación del objeto con dimensiones aceptables. El objeto formado será generalmente considerado un objeto nuevo o pre-forma que tiene que ser mecanizado a una precisión dimensional aceptable.

30 Taminger and Hafley [1] revelan un método y dispositivo para la fabricación de piezas metálicas estructurales directamente de los datos de diseño asistido por ordenador combinado con una fabricación de forma libre con haz de electrones (EBF). La parte estructural es construida por soldadura de capas sucesivas de un alambre de soldadura metálica que está soldado por la energía térmica proporcionada por el haz de electrones. El proceso se muestra esquemáticamente en la figura 1, que es un facsímil de la figura 1 de [1]. El proceso EBF consiste en suministrar un alambre de metal a un baño fundido hecho y sostenido por un haz de electrones enfocado en un entorno de alto vacío. El posicionamiento del alambre de haz de electrones y la soldadura se obtiene al tener el cañón de haz electrónico y el sistema de posicionamiento (el sustrato de soporte) articulado de forma móvil a lo largo de uno o más ejes (X, Y, Z, y la rotación) y regular la posición del cañón de haz de electrones y el sustrato de soporte por un sistema de control de movimiento de cuatro ejes. El proceso se reivindica que es casi del 100% de eficiencia en el uso de materiales y un 95% de eficacia en el consumo de energía. El método se puede emplear tanto para la deposición de metales a granel y deposiciones más finas detalladas, y el método se reivindica para obtener un efecto significativo en la reducción de tiempo de espera y material inferior y costos de mecanizado en comparación con el enfoque convencional de mecanizado de las piezas de metal. La tecnología de haz de electrones tiene la desventaja de ser dependiente de un alto vacío de 10^{-1} Pa o menos en la cámara de deposición.

45 Se conoce el uso de plasma por arco para proporcionar el calor para la soldadura de materiales metálicos. Este método se puede emplear a presiones atmosféricas o superiores, y por lo tanto permitir un equipo de proceso más simple y menos costoso. Uno de tales métodos es conocido como la soldadura por arco de tungsteno y gas (GTAW, también denominado como TIG) donde se forma un plasma por arco transferido entre un electrodo de tungsteno no consumible y la zona de soldadura. El plasma por arco está generalmente protegido por un gas que se alimenta a través del soplete de plasma que forma una cubierta de protección alrededor del arco. La soldadura TIG puede incluir el suministro de un alambre de metal o polvo de metal en el baño fundido o el plasma por arco como material de relleno.

55 De US 2010/0193480 se conoce el empleo de un soplete de soldadura TIG para construir objetos por fabricación de sólidos de forma libre (SFFF), donde se aplican capas sucesivas de material de materia prima metálica con baja ductilidad sobre un sustrato. Una corriente de plasma se crea por la activación de un gas que fluye usando un

electrodo de arco, el electrodo de arco que tiene una corriente de magnitud variable proporcionada al mismo. La corriente de plasma se dirige a una región objetivo predeterminado para precalentar la región objetivo predeterminado antes de la deposición. La corriente se ajusta y el material de materia prima se introduce en la corriente de plasma para depositar la materia prima fundida en la región objetivo predeterminada. La corriente se
 5 ajusta y la materia prima fundida se enfría lentamente a una temperatura elevada, por lo general por encima de la temperatura de transición frágil a dúctil del material de materia prima, en una fase de enfriamiento para minimizar la aparición de tensiones del material.

Otro ejemplo es US 2006/185473, que revela el uso del soplete TIG en lugar del láser costoso utilizado tradicionalmente en procesos de fabricación de sólidos de forma libre (SFFF) con suministro de titanio a un costo relativamente bajo mediante la combinación del suministro de titanio y componentes de aleación de una manera que reduce considerablemente el costo de las materias primas. Más particularmente, en un aspecto, la presente invención emplea alambre de titanio puro (CP Ti) que es de más bajo costo que el alambre de aleación, y combina el
 10 alambre de CP Ti con componentes de aleación en polvo in situ en el proceso SFFF mediante la combinación de alambre de CP Ti y los componentes de aleación en polvo en la masa fundida del soplete de soldadura u otros haces de energía de alta potencia. En otra realización, la invención emplea material de esponja de titanio mezclado con elementos de aleación y se forma en un alambre donde se puede utilizar en un proceso de SFFF en combinación con un soplete de soldadura de plasma u otros haces de energía de alta potencia para producir componentes de titanio conformado casi neto.

El metal de titanio o las aleaciones de titanio calentados por encima de 400°C pueden estar sujetas a la oxidación al contacto con el oxígeno. Por lo tanto, es necesario proteger la soldadura y el objeto caliente que está siendo formado por fabricación en capas contra el oxígeno en la atmósfera ambiente.

Una solución a este problema es conocida a partir de WO 2011/0198287, que revela un método para aumentar la velocidad de deposición llevando a cabo la fabricación de objetos de fabricación de sólidos de forma libre, especialmente objetos de titanio y aleación de titanio, en una cámara de reactor que está cerrada a la atmósfera
 25 ambiente. Al hacer en la cámara de deposición el suficiente vacío de oxígeno, la necesidad de emplear medidas de protección para evitar la oxidación de la nueva zona soldada por el oxígeno atmosférico ambiente ya no está presente, de tal manera que se puede proceder al proceso de soldadura a una velocidad más grande ya que en la zona soldada se puede permitir tener una temperatura superior sin riesgo de oxidación excesiva de la soldadura. Por ejemplo, en la producción de objetos de titanio o aleación de titanio, ya no hay necesidad de enfriamiento de la zona soldada por debajo de 400°C para evitar la oxidación.

Otra solución para aumentar la velocidad de deposición se conoce de US 6 268 584, que revela un ensamblaje superior de deposición que consta de las siguientes características: una serie de boquillas de salida de polvo para crear un flujo convergente de polvo a la región de deposición, un orificio central que permite que múltiples haces se centren sobre el sustrato de deposición, y el flujo de gas coaxial para cada uno de los inyectores de polvo para
 35 concentrar la corriente de polvo de estas boquillas con el fin de proporcionar una distancia más larga de trabajo entre la boquilla y el ensamblaje superior de deposición. La distancia de trabajo más larga es crítica para asegurar que las partículas de metal fundido no estén unidas al aparato de deposición durante el procesamiento. En particular, la invención incluye un sistema colector diseñado en el ensamblaje superior de deposición que puede utilizar más de un haz de láser al mismo tiempo para el proceso de deposición. El ensamblaje superior de deposición también incorpora un medio para concentrar de forma activa la corriente de polvo de cada orificio para aumentar la eficiencia de la utilización del material.

WO 2006/133034 revela el uso de arco metálico con gas combinado y la soldadura por láser para resolver los problemas asociados con la naturaleza reactiva de Ti y sus características de fundido que hacen que sea muy difícil para formar productos de DMD. Las técnicas de arco metálico con gas tienen varias desventajas que limitan seriamente su aplicación al depositar Ti. Estos inconvenientes incluyen inestabilidades en la transferencia de metal, salpicaduras excesivas y un mal control de la forma de capa depositada, y alta entrada de calor que provoca una distorsión de secciones delgadas durante la deposición. También, un aumento de la productividad no es posible debido a la oscilación en el punto de cátodo que se produce durante la deposición. La solución a estos problemas de acuerdo con WO 2006/133034 es un proceso directo de deposición de metal que comprende las etapas de proporcionar un sustrato y depositar un metal a partir de una materia prima de metal sobre el sustrato. Se genera un arco eléctrico entre la materia prima de metal y el sustrato y el arco se expone a la radiación láser para formar un baño de metal fundido sobre el sustrato. El baño de metal fundido se enfría para formar una primera capa de metal sólido en el sustrato.

Objetivo de la invención

El principal objetivo de la invención es proporcionar un dispositivo para una construcción metálica mediante la fabricación de sólidos de forma libre.

Otro objetivo de la invención es proporcionar un método para la fabricación de capas rápida de objetos en titanio o aleaciones de titanio.

Descripción de la invención

La invención se basa en la realización de que la velocidad de deposición se puede aumentar mediante el suministro de material de suministro metálico en la forma de un alambre y el empleo de dos arcos transferidos de gas, un plasma por arco transferido para el calentamiento de la zona de deposición sobre el material de base y un plasma por arco transferido para calentar y fundir el alambre de suministro.

5 Así, en un primer aspecto, la presente invención se refiere a un método para la fabricación de un objeto tridimensional de un material metálico mediante la fabricación de sólidos de forma libre, donde el objeto se realiza por la fusión junto con los depósitos sucesivos del material metálico sobre un sustrato de soporte,

caracterizado porque el método comprende:

- 10 - el empleo de un sustrato de soporte hecho de un material metálico similar al del objeto que se va a hacer, y
- cada depósito sucesivo se obtiene por;
- i) el empleo de un primer plasma por arco transferido (PTA) para precalentar y formar un baño fundido en el material de base en la posición en la que el material metálico se va a depositar,
- 15 ii) suministrar el material metálico que se depositará en la forma de un alambre a una posición por encima del baño fundido,
- iii) empleo de un segundo plasma por arco transferido (PTA) para calentar y fundir el alambre de tal manera que el material metálico fundido gotea en el baño fundido, y
- iv) mover el sustrato de soporte con relación a la posición del primer y segundo PTA en un patrón predeterminado de tal manera que los sucesivos depósitos de material metálico fundido se solidifican y forma el objeto tridimensional.

20 En un segundo aspecto, la invención se refiere a una disposición para la fabricación de un objeto tridimensional de un material metálico mediante la fabricación de sólidos de forma libre, donde la disposición comprende:

- un soplete de soldadura con un suministrador de alambre integrado suministrando un alambre del material metálico,

- un sistema para el posicionamiento y movimiento del sustrato de soporte en relación con el soplete de soldadura, y

25 - un sistema de control capaz de leer un modelo de diseño asistido por ordenador (CAD) del objeto que se va a formar y emplear el modelo CAD para regular la posición y el movimiento del sistema de posicionamiento y moviendo el sustrato de soporte y para hacer funcionar el soplete de soldadura con suministro de alambre integrado de tal manera que un objeto físico se construye mediante la fusión de los depósitos sucesivos del material metálico sobre el sustrato de soporte, caracterizado porque

30 - el sustrato de soporte está hecho de un material metálico similar al del objeto que se va a hacer,

- el soplete de soldadura comprende

i) un primer soplete de plasma por arco transferido (PTA) conectado eléctricamente al material de base y

ii) un segundo soplete de plasma por arco transferido (PTA) conectado eléctricamente al alambre de suministro de material metálico,

35 - el sistema de control es capaz de operar y regular por separado el primer soplete de PTA para formar y mantener un baño fundido en el material de base en la posición en la que el material metálico se va a depositar, y

- el sistema de control es capaz de operar y regular por separado el suministro de alambre y el segundo soplete de PTA para fundir el material metálico suministrado en una posición de tal manera que el material metálico fundido gotee en el baño fundido.

40 El término "material metálico similar" como se usa en este documento significa que el material metálico es del mismo metal o aleación metálica como el material metálico de referencia.

El término "material de base" tal como se utiliza en el presente documento se entiende como el material objetivo para el calor del primer soplete de PTA y en el que el baño fundido se va a formar. Este será el sustrato de soporte al depositar la primera capa de material metálico. Cuando una o más capas de material metálico se han depositado

sobre el sustrato de soporte, el material de base será la capa superior de material metálico depositado es decir que ha depositado una nueva capa de material metálico.

El término "soplete de plasma por arco transferido" o "soplete de PTA" como se usa indistintamente en este documento significa cualquier dispositivo capaz de calentar y excitar una corriente de gas inerte al plasma por una descarga de arco eléctrico y luego transferir el flujo de gas de plasma incluyendo el arco eléctrico a través de un orificio (boquilla) para formar una columna estrecha que se extiende fuera del orificio y transfiere el intenso calor del arco a una región objetivo. La región objetivo y de electrodo está conectada eléctricamente a una fuente de energía de corriente continua de tal manera que el electrodo del soplete de PTA se convierte en el cátodo y la región de destino se convierte en el ánodo. Esto asegurará que la columna de plasma incluyendo el arco eléctrico entregue un flujo de calor altamente concentrado a una pequeña área de superficie de la región de destino con un excelente control de la extensión de área y la magnitud del flujo de calor que se suministra por el soplete de PTA. Un plasma por arco transferido tiene la ventaja de proporcionar arcos estables y consistentes con poca oscilación y buena tolerancia para las desviaciones de la longitud entre el cátodo y el ánodo. Por lo tanto, el soplete de PTA es apropiado tanto para la formación de un baño fundido en el material de base y para calentar y fundir el suministro del alambre metálico. El soplete de PTA puede tener favorablemente un electrodo de tungsteno y una boquilla de cobre. Sin embargo, la invención no está ligada a ninguna elección específica o tipo de soplete de PTA. Cualquier dispositivo conocido o concebible capaz de funcionar, se puede aplicar como soplete de PTA.

El uso de un primer soplete de PTA controlado por separado para precalentar el material de base y formar el baño fundido y un segundo soplete de PTA por separado para fundir el alambre de suministro de material metálico ofrece la ventaja de que se hace posible aumentar el suministro de calor al suministro de alambre metálico independiente del suministro de calor al sustrato de modo que se hace posible aumentar el flujo de calor en el material de suministro sin riesgo de la creación de un "arco de pulverización", que genera salpicaduras. Por lo tanto, es posible aumentar la velocidad de deposición del material de suministro metálico fundido sin sobrecalentar simultáneamente el sustrato y sin riesgo de salpicaduras o formar un baño fundido excesivo y, por lo tanto, perder el control de la consolidación del material depositado. Esta característica se obtiene mediante la conexión de una fuente de energía de corriente continua de tal manera que el electrodo del primer soplete de PTA convierte la polaridad negativa y el material de base convierte la polaridad positiva para definir un circuito eléctrico, donde la carga eléctrica es transferida por una descarga de arco entre el electrodo del primer soplete de PTA y el material de base, y mediante la conexión del electrodo del segundo soplete de PTA para el polo negativo de una fuente de energía de corriente continua y el alambre de suministro de material metálico al polo positivo para formar un circuito eléctrico, donde la carga eléctrica es transferida por una descarga de arco entre el electrodo del segundo soplete de PTA y el alambre de suministro de material metálico.

El primer y segundo sopletes de PTA pueden tener favorablemente fuentes de suministro separadas y medios para la regulación de la fuente de suministro a los respectivos sopletes. Los medios para la regulación de la potencia pueden incluir favorablemente medios para controlar la temperatura de la zona de deposición del material de base y medios para la regulación de la anchura y la posición del arco, es decir, tal como medio de deflexión de arcos magnéticos. También, el primer soplete de PTA empleado para formar el baño fundido en el material de base puede formar favorablemente un amplio arco, tal como, i.e. formado por un soplete de soldadura por arco de tungsteno y gas (soplete de GTAW, también denominado como soplete de TIG en la literatura) para formar un baño fundido en un área más amplia de la superficie del material de base.

El término "modelo de diseño asistido por ordenador" o "modelo CAD" como se usa indistintamente en este documento significa cualquier representación tridimensional virtual conocida o concebible del objeto que se va a formar que se puede emplear en el sistema de control de la disposición según el segundo aspecto de la invención: para regular la posición y el movimiento del sustrato de soporte y para hacer funcionar el soplete de soldadura con suministro de alambre integrado de tal manera que un objeto físico se construye mediante la fusión de los depósitos sucesivos de material metálico sobre el sustrato de soporte en un patrón que da lugar a la construcción de un objeto físico de acuerdo con el modelo virtual tridimensional del objeto. Este puede ser obtenido por ejemplo mediante la formación de un modelo en capas vectorizado virtual del modelo tridimensional por primera dividiendo el modelo virtual tridimensional en un conjunto de capas paralelas virtuales y luego dividiendo cada una de las capas paralelas en un conjunto de virtual de piezas casi unidimensional. A continuación, el objeto físico puede ser formado por el acoplamiento del sistema de control para depositar y fusionar una serie de piezas casi unidimensional del material metálico suministrado sobre el sustrato de soporte en un patrón de acuerdo con la primera capa del modelo de capas vectorizado virtual del objeto. A continuación, repitiendo la secuencia para la segunda capa del objeto mediante el depósito y la fusión de una serie de piezas casi unidimensionales del material soldable sobre la capa depositada anterior en un patrón de acuerdo con la segunda capa del modelo virtual en capas vectorizadas del objeto. La repetición continua del proceso de deposición y fusión capa por capa para cada capa sucesiva del modelo de capas vectorizado del objeto virtual hasta que se forma todo el objeto. Sin embargo, la invención no está ligada a cualquier modelo específico CAD y/o software de ordenador para ejecutar el sistema de control de la disposición de acuerdo con la invención, y tampoco lo es la invención ligada a cualquier tipo específico de sistema de control. Cualquier sistema de control conocido o concebible (modelo-CAD, software informático, hardware y actuadores etc.) capaz de construir objetos tridimensionales metálicos de fabricación de sólidos de forma libre se pueden emplear

siempre que el sistema de control se ajuste para operar por separado un primer soplete de PTA para formar el baño fundido y un segundo soplete de PTA para fundir el alambre de suministro de material metálico en el baño fundido.

5 La velocidad de suministro (la velocidad del alambre) y el posicionamiento del alambre de suministro de material metálico pueden favorablemente ser controlados y regulados de acuerdo con el efecto del suministro de potencia al segundo soplete de PTA con el fin de asegurar que el alambre se caliente de forma continua y es derretido al alcanzar la posición prevista por encima del baño fundido en el material de base. Esto se puede obtener mediante el uso de un soplete de soldadura por arco metálico con gas convencional (soplete-GMAW, también denominado soplete-MIG) como suministro de alambre sin la formación de un arco en el soplete-MIG. Esta realización del suministrador de alambre tiene la ventaja de ser capaz de conectar eléctricamente el alambre a la fuente eléctrica DC del segundo soplete de PTA y también para colocar el alambre con mucha precisión. El alambre de suministro de material metálico puede tener cualquier dimensión prácticamente ejecutable, tal como, i.e. 1.0 mm, 1.6 mm, 2.4 mm, etc.

15 El término "material metálico" como se usa en este documento significa cualquier metal conocido o concebible o aleación de metal que puede estar formado en un alambre y se emplea en un proceso de fabricación de sólidos de forma libre para formar un objeto tridimensional. Ejemplos de materiales apropiados incluyen, pero no se limitan a; titanio y aleaciones de titanio, tales como, por ejemplo, aleaciones de Ti-6Al-4V.

20 El efecto proporcionado con el primer y segundo soplete de PTA dependerá del material metálico que se está aplicando, el diámetro del alambre de suministro, de las tolerancias de calor del material de base, la velocidad de depósito, etc. La invención por lo tanto no está vinculada a ningún periodo específico del suministro de potencia, pero se puede aplicar prácticamente cualquier diferencia de potencial el funcionamiento cuya corriente da lugar a una operación de funcionamiento del primer y segundo soplete de PTA. Un experto será capaz de encontrar estos parámetros mediante ensayos de prueba y error. Los experimentos realizados por el solicitante han demostrado que mediante el empleo de un alambre con un diámetro de 1.6 mm hechos de grado 5 de aleación de titanio, pueden ser construidos objetos tridimensionales con propiedades mecánicas similares a los objetos convencionales de titanio a una velocidad de deposición de 3.7 a 3.8 kg/hora cuando el primer soplete de PTA se suministra con alrededor de 150 A y el segundo soplete de PTA con alrededor de 250 A. Se cree que las velocidades de deposición de hasta 10 kg/hora se pueden obtener mediante la realización de la deposición de SFFF de acuerdo con el primer y segundo aspecto de la invención en un ambiente efectivamente protegido, i.e. tal como, en la cámara de reacción revelada en WO 2011/0198287. Esto es confirmado por otro experimento realizado por el solicitante con un alambre de titanio de diámetro 2.4 mm, grado 5, que dio una tasa de deposición de 9.7 kg/h, cuando el suministro del primer soplete de PTA con una corriente de aproximadamente 250 A y el segundo soplete de PTA con una corriente de alrededor de 300 A.

35 Como alternativa, la invención puede incluir también medios para la creación de pulsos térmicos en el baño fundido con el fin de romper las tendencias para el crecimiento de las dendritas cristalinas en el baño fundido. Esta característica permite la creación de objetos metálicos con propiedades mecánicas mejoradas debido a una estructura de grano mejorado. La pulsación térmica se puede obtener mediante el empleo de un tercer generador de potencia DC que suministra una potencia DC pulsante y conecta el polo negativo del generador de potencia DC al electrodo del segundo soplete de PTA y el polo positivo al material de base para formar un circuito eléctrico, donde la carga eléctrica es transferida por una descarga de arco pulsante entre el electrodo del segundo soplete de PTA y el material de base. La descarga de arco entre el electrodo del segundo soplete de PTA y el material de base se enciende y se apaga de acuerdo con la potencia DC pulsante aplicada y de este modo formar un flujo de calor pulsante en el baño fundido en el material de base. La frecuencia de la pulsación puede estar en el intervalo de desde 1 Hz hasta varios kHz o más, es decir, 10 kHz.

Lista de figuras

45 La figura 1 es un facsímil de la figura 1 de Taminger and Hafley [1] que muestra una vista esquemática del principio de la fabricación de sólidos de forma libre.

La figura 2 es un facsímil de la figura 1 de US 2006/0185473 que muestra una vista esquemática del principio de plasma de arco transferido de la fabricación de sólidos de forma libre.

50 La figura 3 es un dibujo esquemático que muestra una vista en sección transversal de la disposición de acuerdo con el segundo aspecto de la presente invención.

La figura 4 es un dibujo esquemático que muestra una vista en sección transversal de una segunda realización de la invención que incluye un pulsante térmico.

Ejemplo de realizaciones de la invención

La invención se explicará con mayor detalle por medio de realizaciones de ejemplo. Estos ejemplos no deben interpretarse como una limitación del alcance general de la idea de la invención de usar dos sopletes de PTA, uno para formar el baño fundido en el material de base y uno para fundir el material de suministro.

Primera realización de ejemplo

- 5 La primera realización de ejemplo de la disposición de acuerdo con el segundo aspecto de la invención se muestra esquemáticamente en la figura 3. La figura muestra un sustrato 1 de soporte hecho de una aleación de Ti-6Al-4V en forma de un cuboide rectangular, sobre el que un objeto tridimensional hecho de la misma aleación de Ti-6Al-4V se va a formar mediante la fabricación de sólidos de forma libre. La figura muestra la parte inicial del proceso de deposición, donde se deposita la primera raya 2 de soldadura de la aleación Ti-6Al-4V.
- 10 Un alambre 3 hecho de la aleación Ti-6Al-4V continuamente está siendo suministrado por un suministrador 4 de alambre que posiciona el alambre 3 de tal manera que su extremo distal se encuentra por encima del baño 5 fundido en la zona de deposición sobre el sustrato 1 de soporte. El alambre 3 se administra a una velocidad indicada por la flecha superior en la figura que corresponde a la velocidad de calentamiento y de fusión del extremo distal de tal manera que se suministran continuamente gotitas 6 de alambre fundido al baño 5 fundido.
- 15 Un primer plasma por arco 7 transferido está formado por un soplete 8 de PTA, que está conectado eléctricamente a una fuente 9 de energía DC, de tal manera que el electrodo 10 del soplete de PTA se convierte en el cátodo y el sustrato 1 de soporte el ánodo. El plasma por arco 7 transferido es continuo y se dirige a calentar y fundir el material de base (que en esta etapa del proceso SFFF es el sustrato de soporte) en el punto de deposición de tal manera que se obtiene el baño 5 fundido. El efecto de la fuente 9 de energía DC se regula para mantener un baño 5 fundido
- 20 con un tamaño constante y la extensión por un sistema de control (no mostrado). El soplete 8 de PTA es un soplete de soldadura por arco de tungsteno y gas (GTAW) equipado con un deflector de arco magnético (no mostrado) para controlar el tamaño y la posición del arco 8.

- Un segundo plasma por arco 11 transferido está formado por un soplete 12 de PTA, que está conectado eléctricamente a una fuente 13 de energía DC de tal manera que el electrodo 14 del soplete 12 PTA se convierte en el cátodo y el alambre 3 de suministro en el ánodo. El plasma por arco 11 transferido es continuo y dirigido para calentar y fundir el extremo distal del alambre 3. El efecto de la fuente 13 de energía DC se regula para mantener una velocidad de calentamiento y de fusión de acuerdo con la velocidad de suministro del alambre de tal manera que la formación de las gotitas 6 se programaron para mantener un goteo continuo de alambre fundido en el baño 5 fundido. El efecto proporcionado por la fuente 13 de energía DC y la velocidad de suministro del alambre 3 que sale del suministrador 4 de alambre están constantemente regulados y controlados por el sistema de control de tal manera que el baño 5 fundido se suministra con el alambre fundido a una velocidad que proporciona la velocidad de deposición destinado de la aleación Ti-6Al-4V. El sistema de control se acopla al mismo tiempo para utilizar y regular el acoplamiento de un actuador (no mostrado) que constantemente posiciona y mueve el sustrato 1 de soporte de manera que el baño fundido se encuentra en el punto de deposición deseado como el propuesto por el modelo CAD del objeto que se va a formar. En esta etapa del proceso de SFFF, el sustrato 1 de soporte se mueve tal como se indica por la flecha inferior.
- 25
- 30
- 35

Segunda realización de ejemplo

La segunda realización de ejemplo de la invención es la primera realización de ejemplo dada anteriormente, incluyendo medios adicionales para la formación de pulsos térmicos en el baño 5 fundido.

- 40 El medio para la formación de impulsos térmicos es una fuente 15 de energía DC que está conectada eléctricamente al segundo soplete 12 de PTA de tal manera que el electrodo 14 se convierte en el cátodo y el sustrato 1 de soporte se convierte en el ánodo. Además, existen medios 16 para pulsar la potencia suministrada por la fuente 15 de energía DC de tal manera que el arco 11 junto con el calor y fusión del alambre 3, entra en el baño 5 fundido con la misma frecuencia que la fuente de energía por impulsos y por lo tanto suministrar un flujo de calor pulsante al baño fundido. Los medios 16 pueden estar regulados por el sistema de control y proporcionan una descarga de arco pulsante en el baño fundido con una frecuencia de 1 kHz.
- 45

Referencia

1. Taminger, K. M. and Hafley, R. A., "Electron Beam Freeform Fabrication for Cost Effective Near-Net Shape Manufacturing", NATO/RTOAVT-139 Specialists' Meeting on Cost Effective Manufacture via Net Shape Processing (Amsterdam, Países Bajos, 2006) (NATO). pp 9-25, http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20080013538_2008013396.pdf
- 50

Reivindicaciones

1. Un método para la fabricación de un objeto tridimensional de un material metálico mediante la fabricación de sólidos de forma libre, donde el objeto se realiza por la fusión de los depósitos juntos sucesivos del material metálico sobre un sustrato de soporte,
- 5 caracterizado porque el método comprende:
- el empleo de un sustrato de soporte hecho de un material metálico similar al del que está hecho el objeto, y
 - cada depósito sucesivo se obtiene por;
- i) empleo de un primer plasma por arco transferido (PTA) para precalentar y formar un baño fundido en el material de base en la posición en la que el material metálico se va a depositar,
- 10 ii) suministrar el material metálico que se depositará en la forma de un alambre de suministro de material metálico a una posición por encima del baño fundido,
- iii) empleo de un segundo plasma por arco transferido (PTA) para calentar y derretir el alambre de suministro de material metálico de tal manera que el material metálico fundido gotee en el baño fundido, y
- 15 iv) mover el sustrato de soporte con relación a la posición de la primera y segunda PTA en un patrón predeterminado de manera que los depósitos sucesivos de material metálico fundido se solidifiquen y forme el objeto tridimensional.
2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde
- el primer plasma por arco transferido está formado por un soplete de soldadura por arco de tungsteno y gas (soplete-GTAW) conectado eléctricamente a una fuente de energía de corriente continua de tal manera que el electrodo del soplete GTAW se convierte en el cátodo y el material de base se convierte en el ánodo, y
- 20 - el segundo plasma por arco transferido se forma por cualquier soplete convencional de plasma por arco transferido (soplete de PTA) conectado eléctricamente a una fuente de energía de corriente continua de tal manera que el electrodo del soplete de PTA se convierte en el cátodo y el alambre de suministro de material metálico se convierte en el ánodo.
3. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en donde el material metálico es titanio o aleación de titanio.
- 25 4. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en donde la fabricación de sólidos de forma libre del objeto se obtiene por dimensiones características del objeto por:
- el empleo de una herramienta de diseño asistido por ordenador (CAD) para formar un modelo tridimensional virtual del objeto, que divide el modelo en un conjunto de capas paralelas virtuales y además en un conjunto de piezas unidimensionales casi virtual para cada capa en paralelo para formar un modelo en capas vectorizado virtual del objeto,
- 30 - la carga del modelo en capas vectorizado virtual del objeto en un sistema de control capaz de regular la posición y el movimiento del sustrato de soporte, la activación del primer y segundo soplete de plasma por arco transferido, y la activación de un sistema de suministro de alambre que suministra el alambre de suministro del material metálico,
- acoplar el sistema de control para depositar y fusionar una serie de piezas casi unidimensionales del alambre de suministro de material metálico sobre el material de base en un patrón de acuerdo con la primera capa del modelo en capas vectorizado virtual del objeto,
- 35 - formación de la segunda capa del objeto mediante el depósito y la fusión de una serie de piezas casi unidimensionales del alambre de suministro de material metálico sobre la capa previa depositada en un patrón de acuerdo con la segunda capa del modelo en capas vectorizado virtual del objeto, y
- 40 -repetición de la deposición y capa del proceso de fusión por capa para cada capa sucesiva del modelo de capas vectorizado virtual del objeto hasta que se forme todo el objeto.
5. Un método de acuerdo con la reivindicación 2, en donde el segundo plasma por arco transferido se emplea para entregar pulsos térmicos a el baño fundido conectando eléctricamente el electrodo del soplete de plasma por arco transferido (soplete de PTA) al polo negativo de una fuente de energía de corriente continua y el material de base para el polo positivo de la fuente de energía de corriente continua, y para pulsar la potencia de corriente continua
- 45 con una frecuencia en el intervalo de 1 Hz a 10 kHz.

6. Una disposición para la fabricación de un objeto tridimensional de un material metálico mediante la fabricación de sólidos de forma libre, donde la disposición comprende:
- un soplete de soldadura con un suministrador de alambre integrado que suministra un alambre del material metálico,
- 5 - un sistema para colocar y mover el sustrato de soporte en relación con el soplete de soldadura, y
- un sistema de control capaz de leer un modelo de diseño asistido por ordenador (CAD) del objeto que se va a formar y emplear el modelo CAD para regular la posición y el movimiento del sistema de posicionamiento y moviendo el sustrato de soporte y para hacer funcionar el soplete de soldadura con el suministro de alambre integrado de tal manera que un objeto físico se construye mediante la fusión de los depósitos sucesivos del material metálico sobre el sustrato de soporte,
- 10 caracterizado porque
- el sustrato de soporte está hecho de un material metálico similar al del objeto que se va a hacer,
 - el soplete de soldadura comprende
 - i) un primer soplete de plasma por arco transferido (PTA) conectado eléctricamente al material de base y
 - 15 ii) un segundo soplete de plasma por arco transferido (PTA) conectado eléctricamente al alambre de suministro del material metálico,
 - el sistema de control es capaz de operar y regular por separado el primer soplete de PTA para formar y mantener un baño fundido en el material de base en la posición en la que el material metálico se va a depositar, y
 - el sistema de control es capaz de operar y regular por separado el alimentador de alambre y el segundo soplete de 20 PTA para fundir el material metálico suministrado en una posición de tal manera que el material metálico fundido gotea en el baño fundido.
7. Una disposición de acuerdo con la reivindicación 6,
- el primer soplete de plasma por arco transferido es un soplete de soldadura por arco de tungsteno y gas (GTAW-soplete), que está conectado eléctricamente a una fuente de energía de corriente continua de tal manera que el electrodo del soplete GTAW se convierte en el cátodo y el material de base se convierte en el ánodo, y
- 25 - el segundo soplete de plasma por arco transferido es cualquier soplete convencional de plasma por arco transferido (soplete de PTA), que está conectado eléctricamente a una fuente de energía de corriente continua de tal manera que el electrodo del soplete de PTA se convierte en el cátodo y el alambre de suministro de material metálico se convierte en el ánodo.
- 30 8. Una disposición de acuerdo con la reivindicación 6 o 7, en donde la fuente de energía de corriente continua del soplete GTAW y del soplete de PTA son dos fuentes de alimentación DC reguladas de forma independiente.
9. Una disposición de acuerdo con la reivindicación 6 o 7, en donde
- el suministrador de alambre es un soplete de MIG y
- 35 - el alambre de suministro de material metálico está hecho de titanio o aleación de titanio y tiene un diámetro de uno de; 1.0, 1.6, y 2.4 mm.
10. Una disposición de acuerdo con la reivindicación 7, en donde
- el electrodo del segundo plasma por arco transferido está conectado eléctricamente al polo negativo de una fuente de corriente continua y el material de base está conectado eléctricamente al polo positivo de la fuente de energía de corriente continua, y
- 40 - la potencia de la fuente de energía de corriente continua es pulsado con una frecuencia en el intervalo de 1 Hz a 10 kHz.

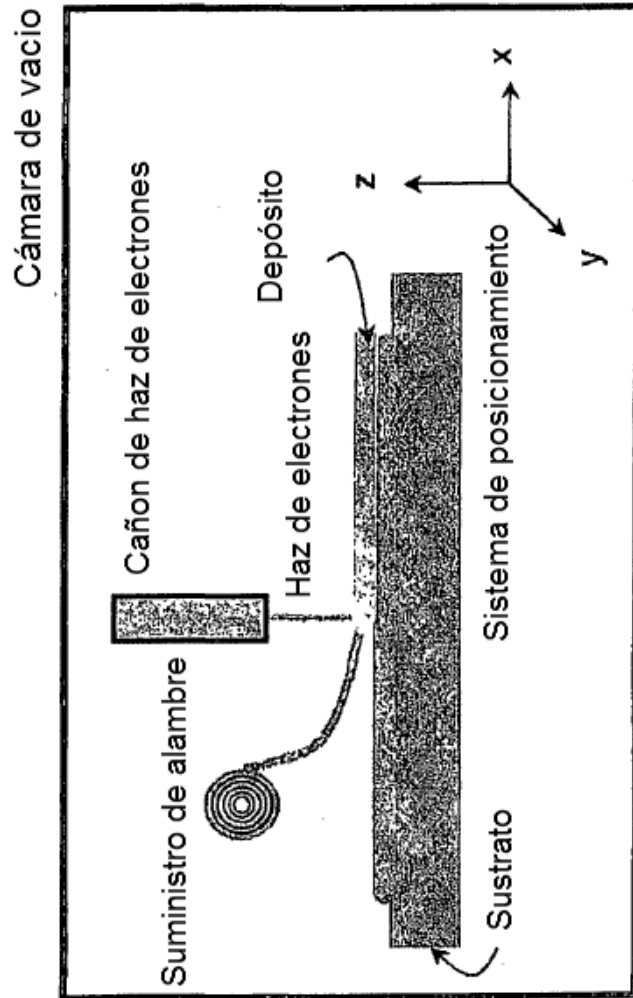


Figura 1 Facsímil de la figura 1 de (1)

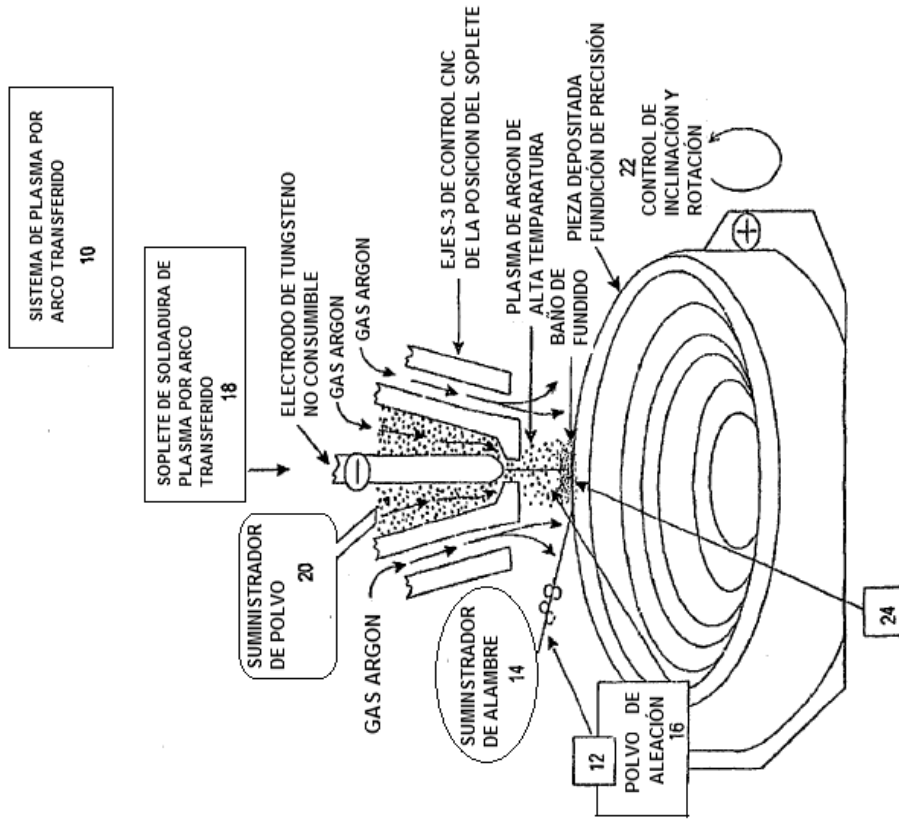


Figura 2 facsimil de la figura 1 de US2006/01854673.

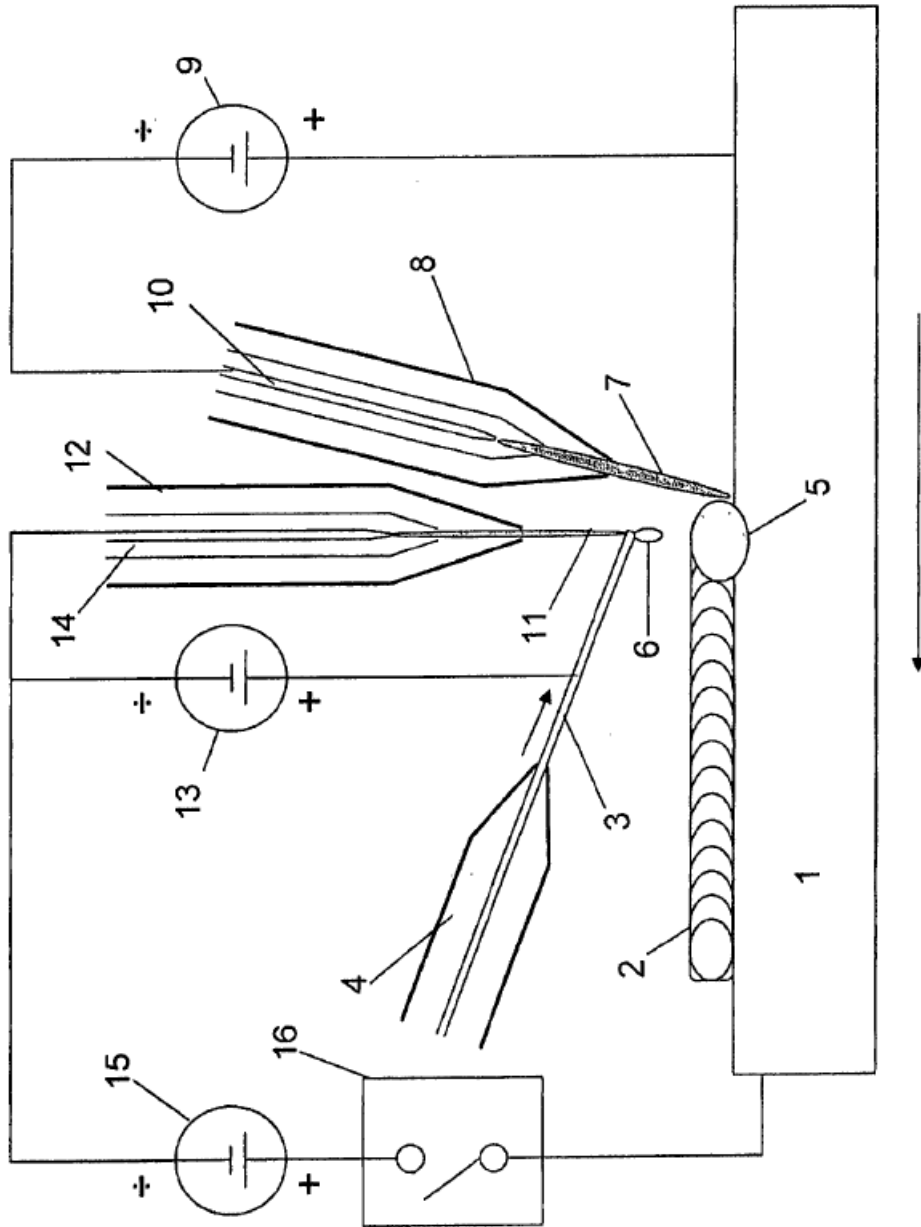


Figura 4