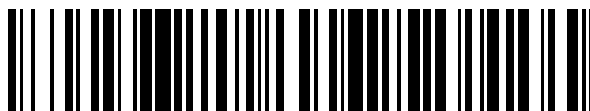


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 663 554**

51 Int. Cl.:

B23K 26/14 (2014.01)

B23K 26/34 (2014.01)

B22F 3/105 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.04.2010** **PCT/GB2010/050666**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.11.2010** **WO10125371**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.04.2010** **E 10715335 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.01.2018** **EP 2424706**

54 Título: **Método de fabricación aditiva por capas**

30 Prioridad:

28.04.2009 GB 0907223
28.04.2009 EP 09275029

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
13.04.2018

73 Titular/es:

BAE SYSTEMS PLC (100.0%)
6 Carlton Gardens
London SW1Y 5AD, GB

72 Inventor/es:

WESCOTT, ANDREW, DAVID;
MORELAND, BENJAMIN, RICHARD y
SIDHU, JAGJIT

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 663 554 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 de fabricación aditiva por capas

5 Esta invención se refiere a un método de fabricación aditiva por capas (ALF), es decir un método en el que capas sucesivas de material se añaden unas encima de otras para construir una estructura tridimensional. La invención es aplicable particularmente, pero no exclusivamente, a la fusión selectiva por láser, y puede aplicarse a la fabricación de artículos nuevos o a la reparación de artículos usados.

10 En la fusión selectiva por láser se usa un rayo láser para fundir una cantidad controlada de material (habitualmente metálico) en polvo sobre un sustrato, para formar una capa de material fundido sobre el mismo. Al mover el rayo láser en relación con el sustrato a lo largo de un trayecto predeterminado, la capa puede definirse en dos dimensiones sobre el sustrato, determinándose la anchura de la capa mediante el diámetro del rayo láser donde choca con el sustrato. Repetir el movimiento del láser a lo largo de todo o parte de su trayecto posibilita la
15 deposición de capas de material adicionales, fabricando de ese modo un objeto tridimensional.

Hasta la fecha, la fusión selectiva por láser se ha realizado usando láseres de onda continua (CW, *continuous wave*), normalmente láseres de Nd:YAG que funcionan a 1064 nm. Esto puede conseguir altas tasas de deposición de material particularmente adecuadas para aplicaciones de reparación o cuando una operación de mecanizado posterior es aceptable con el fin de conseguir el componente acabado. Sin embargo, el método no se presta a la
20 producción de componentes con forma próxima a la final con tolerancias estrechas y con un acabado superficial de alta calidad. Las realizaciones preferidas de un aspecto de la presente invención pretenden abordar esta deficiencia.

25 El documento DE102005007792 da a conocer un método de fabricación de un objeto, en el que se deposita una capa usando un láser de pulsos cortos. La invención proporciona en un primer aspecto un método de fabricación de un objeto que comprende aplicar calor a material en polvo por medio de un rayo láser para fundirlo en una capa sobre un sustrato o sobre una capa formada previamente, siendo el rayo láser un rayo láser pulsado, y controlándose el grosor y/o la anchura de la capa modulando los pulsos de rayo láser mientras el rayo está atravesando el sustrato.

30 Modular el pulso de rayo láser posibilita el control exacto y preciso de la cantidad de calor aplicada al polvo.

Al usar un láser modulado por pulsos puede conseguirse un control mucho mejor del proceso de fabricación. Se ha encontrado que es posible producir capas de tan solo 10 μm de grosor.

35 Por "atravesar" quiere decirse moverse a lo largo de un trayecto predeterminado, por ejemplo bajo control informático. Atravesar no está limitado a moverse en línea recta desde un borde del sustrato al otro.

40 La cantidad de material en polvo que se funde para formar la capa, y por tanto el grosor de la capa, depende entre otros del polvo por área unitaria (polvo específico) aplicado por el láser al material a medida que atraviesa el sustrato y de los otros parámetros operativos del láser, la tasa de alimentación de polvo y la velocidad de desplazamiento. Modular la forma y/o la duración del pulso proporciona un medio de control del polvo específico para una tasa de desplazamiento dada. Al modular el pulso de rayo láser durante un desplazamiento, puede variarse el grosor de la
45 capa depositada durante este desplazamiento. Esto puede dar como resultado una disminución del tiempo de fabricación en comparación con un método en el que el grosor de capa es constante y se consigue un perfilado vertical al depositar una capa solo durante parte del desplazamiento.

La modulación durante el desplazamiento posibilita también que las superficies laterales de la estructura en capas se perfilen o reciban un patrón, ya sea para proporcionar refuerzo estructural, o con fines decorativos o de otro modo. Esto se consigue controlando la temporización de eventos de modulación correspondientes en desplazamientos de formación de capa sucesivos del rayo láser: repetir los eventos de modulación en los mismos
50 tiempos durante cada desplazamiento construirá características que se extienden verticalmente (ortogonalmente al sustrato), mientras que hacerlos avanzar o retardarlos en relación con los eventos correspondientes del desplazamiento anterior dará como resultado características inclinadas con respecto al sustrato hacia delante o hacia atrás en relación con el sentido de movimiento del rayo láser que se desplaza transversalmente.

55 El material en polvo puede suministrarse al punto de aplicación del láser al objeto (el "punto de láser") a una tasa en relación con la potencia del rayo láser.

60 El método puede repetirse al menos una vez para formar al menos una capa adicional encima de una capa formada anteriormente.

Un problema que se ha encontrado en algunos ejemplos de fusión selectiva por láser según la invención es el de una deformación excesiva del sustrato en comparación con la que se produce cuando se usa potencia de láser CW.

65

En la fusión selectiva por láser, el rayo láser crea un baño de soldadura en el que se deposita el material en polvo, de manera similar a cuando un soldador añade manualmente alambre de aportación a un baño de soldadura creado en procesos de soldadura por arco eléctrico convencionales, pero a una escala mucho menor. Durante la formación de las capas iniciales sobre el sustrato, el sustrato se somete por tanto a un calentamiento localizado intenso, creando gradientes térmicos muy inclinados entre el material fundido y el material frío más alejado. Si las tensiones de compresión transversales provocadas por el material en expansión muy caliente superan el límite elástico del material, entonces se producirá deformación plástica por compresión (CPY, *compressive plastic yielding*) en el material circundante. Con el enfriamiento y la contracción, se crearán tensiones de tracción residuales transversales altas a lo largo de la "soldadura" y estas se equilibrarán mediante tensiones residuales de compresión más alejadas. Son estas tensiones residuales de compresión las que provocan la deformación por pandeo, cuando superan la carga de pandeo crítica (CBL, *critical buckling load*) del sustrato. La generación de deformación por soldadura y tensión residual se describe por ejemplo, por Rajad, D. en "Heat Effects of Welding - Temperature Field, Residual Stress, Distortion". Springer-Verlag, Berlín, (1992).

Se ha encontrado que la deformación puede reducirse si las capas más próximas al sustrato se forman más gruesas que aquellas más alejadas del mismo, de modo que se necesitan menos desplazamientos del láser para establecer un cimientado para la estructura fabricada. Esto reduce el número de veces que se calienta el sustrato en una medida que da lugar a la deformación. Por consiguiente, cuando la al menos una capa formada anteriormente es adyacente o está próxima al sustrato, puede formarse para que sea más gruesa que la al menos una capa adicional, para reducir de ese modo la deformación del sustrato.

Un método de fabricación de un objeto puede comprender aplicar calor por medio de un rayo láser a material en polvo para fundirlo en una capa sobre un sustrato y repetir el proceso para construir una pila de capas una encima de otra, siendo dicha aplicación de calor suficiente para crear un baño local de material fundido y formándose la capa o capas más próximas al sustrato para ser más gruesas que las más alejadas del mismo, para reducir de ese modo la deformación en el sustrato.

Las más delgadas de dichas capas pueden formarse aplicando calor por medio de un láser pulsado. Preferiblemente, las más gruesas de dichas capas se forman aplicando calor por medio de un láser de onda continua. Alternativamente, las capas más gruesas pueden formarse mediante otro método, que fundirá una mayor cantidad de material en polvo en una única pasada, por ejemplo aumentando la potencia pico y/o el ciclo de servicio de un láser modulado por pulsos y/o reduciendo la velocidad de desplazamiento. Cualquiera que sea el método usado, naturalmente tiene que tenerse cuidado, de modo que el suministro de polvo sea a una tasa adecuada para que se forme la capa más gruesa.

La al menos una capa más gruesa puede ser tal, que la formación de capas más delgadas posteriores no dé como resultado una deformación material del sustrato.

Un segundo aspecto de la invención proporciona un aparato de fabricación para fabricar un objeto según la reivindicación 8. Un tercer aspecto de la invención proporciona un programa informático que, cuando se instala y se ejecuta en el aparato del segundo aspecto de la invención, realiza el método del primer aspecto de la invención.

La invención se describirá ahora meramente a modo de ejemplo con referencia a los dibujos adjuntos, en los que

la Figura 1 muestra un aparato para implementar el método de la invención,

la Figura 2 muestra formas de onda de un rayo láser producido en el aparato de la Figura 1;

la Figura 3 muestra estructuras fabricadas por medio de la invención;

las Figuras 4 y 5 ilustran experimentos realizados para demostrar un aspecto de la invención, y

la Figura 6 muestra piezas de prueba fabricadas en los experimentos.

Haciendo referencia a la Figura 1, un aparato para fusión selectiva por láser comprende una placa de base configurada para recibir una pieza de trabajo que comprende una placa o sustrato original 12, sobre la/el que se construyen capas sucesivas de material 14, 16, 18, 20, 22 tal como se describe a continuación en el presente documento. Un generador de láser 24 se controla mediante un ordenador 26 para suministrar un rayo láser por medio de una fibra óptica 28 a un sistema óptico de enfoque convencional 30, que enfoca el rayo láser en un punto 34 sobre la superficie de la pieza de trabajo. Un sistema de suministro de polvo 32 (también conocido *per se*) suministra polvo a la proximidad del punto de láser 34 sobre la superficie de la pieza de trabajo. El sistema de suministro comprende tres tuberías 36 (solo se muestran dos) dispuestas a intervalos de 120° alrededor del punto de láser.

El aparato láser 28, 30 está montado para poder moverse bajo el control del ordenador 26 en el plano X-Y paralelo a la superficie de la placa de base, y verticalmente en la dirección Z ortogonalmente a la misma. Por tanto, el punto de

láser 34 puede dirigirse a cualquier punto en el entorno de trabajo en el plano X-Y, y verticalmente para dar cabida a piezas de trabajo de diferente altura, y regiones de diferente altura dentro de piezas de trabajo. Tal como se ilustra en la figura, la dirección transversal es en el sentido de la flecha 38, estando el aparato en el proceso de fabricación de la capa 22.

5 El aparato láser 24 es un láser de Nd:YAG que funciona a una longitud de onda de 1064 nm, y que tiene una salida de potencia CW de 500 w. El ordenador 26 está programado para controlarlo o bien en el modo CW o bien en un modo pulsado.

10 En un experimento, el aparato se usó con el láser funcionando en modo pulsado para producir una estructura de capas aditivas. El sustrato 12 era una placa de acero inoxidable 316L de 100 mm x 70 mm x 1,5 mm de grosor. El material en polvo era acero inoxidable 316L. Los parámetros operativos fueron los siguientes:

Potencia de láser promedio	250 w (=potencia de láser máxima x tasa de repetición x duración de pulso)
Potencia de láser máxima	500 w
Tasa de repetición de pulso	10 Hz
Duración de pulso	50 ms
Tamaño del punto de láser	600 μm de diámetro
Tasa de desplazamiento	5 mm/s
Tasa de alimentación de polvo	5 g/min

15 La potencia de láser promedio y la tasa de alimentación de polvo se mantuvieron constantes a lo largo de todo el experimento.

La Figura 2(a) muestra la salida de potencia de láser pulsado. En un único desplazamiento, el aparato produjo una capa de material fundida sobre la superficie del sustrato de un grosor sustancialmente constante de aproximadamente 40 μm .

20 En la Figura 2(b) se muestra una forma de onda de salida de láser modulado por pulsos, en la que se aumenta periódicamente (durante 300 ms en cada segundo) la potencia promedio del láser de 250 w a 500 w. En otras palabras, el ciclo de servicio de cada pulso se aumenta del 50% al 100%. Durante estos periodos se funde una mayor cantidad de material mediante el láser sobre el sustrato, dando como resultado una capa más gruesa. La tasa de alimentación del polvo o bien se aumenta para abastecer esta demanda aumentada, o alternativamente se alimenta polvo a la tasa máxima requerida en cualquier momento durante el desplazamiento, y el polvo en exceso se recoge y se reutiliza.

30 En el aparato experimental, los pulsos de láser eran nominalmente de forma triangular, tal como se muestra en la Figura 2. Pueden usarse otras formas de pulso, por ejemplo una forma de onda cuadrada, controlándose entonces la potencia del láser modulando la relación pulso/pausa (duración de activación/desactivación) de los pulsos dentro del periodo de repetición de pulso.

35 Las Figuras 3a a 3d muestran algunas fabricaciones aditivas por capas producidas por medio de la invención. La Figura 3a muestra una estructura de tipo valla, cuyas superficies laterales (verticales) muestran un patrón de armadura de cesta. La Figura 3b muestra una estructura cilíndrica en la que los lados presentan un patrón helicoidal. La Figura 3c muestra otra estructura de tipo valla en la que las superficies laterales tienen un patrón en zigzag o en espiguilla. Finalmente, la Figura 3d muestra una valla con un patrón como material tejido enhebrado entre postes intermedios. Estos patrones detallados finamente se consiguen por medio de la resolución lineal que puede obtenerse en la dirección transversal. Por ejemplo, en la Figura 2, una tasa de repetición de pulso de 10 Hz y una velocidad de desplazamiento de 5 mm/s implican una tasa de alimentación de 0,5 mm/pulso. Una velocidad de desplazamiento de 2 mm/s proporciona una tasa de alimentación de 0,2 mm/pulso, que posibilitaría la resolución de un patrón más fino en el producto fabricado. Para un grosor de capa constante, la potencia del láser se reduce proporcionalmente hasta la tasa de alimentación. La variación en la anchura (transversalmente a la dirección transversal) de la estructura construida puede conseguirse aumentando tanto el ciclo de servicio del pulso como el tamaño del punto de láser simultáneamente, de modo que la capa depositada sea más ancha, pero no más gruesa.

50 Alternativamente puede conseguirse con un tamaño constante del punto de láser aumentando el "tiempo de interacción" del láser. El tiempo de interacción es el tiempo durante el cual el punto de láser incide sobre un área de la pieza de trabajo, y para un potencia de láser y área puntual dadas es una medida del polvo específico (energía por área unitaria por tiempo unitario aplicada a la pieza de trabajo) mencionado anteriormente. Aumentar el polvo específico, ya sea aumentando el tiempo de interacción o la potencia del láser, da como resultado un baño de soldadura mayor, lo que a su vez permite la captación de más polvo. Por tanto puede conseguirse un depósito de material más ancho.

Pueden fabricarse formaciones sustancialmente más anchas, por ejemplo los "postes" en la Figura 3(d), mediante múltiples desplazamientos en los que el láser se hace funcionar solo de manera transitoria, donde se requiera la construcción de un poste. Patrones sobre las superficies laterales de la estructura tal como en las Figuras 3(a) y 3(c)

se consiguen retardando o haciendo avanzar eventos de modulación correspondientes en pasadas sucesivas. Hacer avanzar cada evento ligeramente da como resultado un patrón inclinado hacia atrás en relación con la dirección transversal (asumiendo que las pasadas sucesivas son en el mismo sentido). Retardar cada evento proporciona un patrón inclinado hacia delante.

La Figura 4 muestra una serie de experimentos llevados a cabo para demostrar la deformación que se produce durante la fusión selectiva por láser, y la mejora que puede obtenerse con un aspecto de la presente invención.

En cada experimento, se sujetó una placa de muestra 40 de acero inoxidable 316L de 100 mm x 70 mm x 1,5 mm de grosor en un extremo a un soporte 42 sobre la placa de base 10 del aparato de la Figura 1. El otro extremo de la placa de muestra se soportó, pero no se sujetó, en un soporte 44. Se formó una estructura de fabricación aditiva por capas 46, que comprende varias capas superpuestas, sobre la placa usando polvo 316L por medio del aparato de la Figura 1. El experimento se realizó usando o bien potencia de láser de onda continua o bien potencia de láser modulado por pulsos. Los parámetros operativos fueron:

Modo CW

Potencia de láser	250 w
Tamaño del punto	600 µm de diámetro
Tasa de desplazamiento	5 mm/s
Tasa de alimentación de polvo	5 g/min

Modo modulado por pulsos

Potencia promedio	250 w
Potencia máxima	500 w
Tasa de repetición	10 Hz
Duración de pulso	50 ms
Tamaño del punto	600 µm de diámetro
Tasa de desplazamiento	5 mm/s
Tasa de alimentación de polvo	5 g/min

El experimento se realizó cuatro veces, formando estructuras de material fundido fabricadas con capas aditivas tal como sigue:

- a) se construyeron 10 capas hasta una altura de 2 mm usando potencia de láser CW (Figura 5a)
- b) se construyeron 50 capas hasta una altura de 2 mm usando potencia de láser pulsado (Figura 5b)
- c) se construyeron 5 capas usando potencia de láser CW seguidas de 25 capas usando potencia de láser pulsado hasta una altura total de 2 mm (Figura 5c)
- d) se construyeron 25 capas usando potencia de láser pulsado seguidas de 5 capas usando potencia de láser CW, hasta una altura total de 2 mm (Figura 5d).

La Figura 6 muestra los resultados de los cuatro experimentos. En el experimento (a), el uso de potencia de láser CW solo dio como resultado la deformación del borde libre del sustrato 40 en 5 mm (Figura 6a). El uso de potencia de láser pulsado solo (experimento (b), Figura 6(b)) dio como resultado una deformación mucho mayor de 14 mm. Se cree que esto se debe al aporte de calor total mayor al sustrato debido al mayor número de capas delgadas depositadas usando la técnica de láser pulsado. Por el contrario, la construcción de la estructura inicialmente mediante el uso de potencia de láser CW en el experimento (c), Figura 6c, dio como resultado una deformación de 4,7 mm, aproximadamente la misma que en el experimento (a). La construcción de la estructura en primer lugar mediante potencia de láser pulsado seguida de potencia de láser CW (experimento (d), Figura 6d) dio como resultado tanta deformación como el uso de potencia de láser pulsado solo en el experimento (b).

Estos experimentos sugieren que para reducir la deformación es ventajoso comenzar construyendo una estructura ALF usando potencia de láser CW, y luego continuar con potencia de láser pulsado para obtener las ventajas de precisión y acabado superficial comentadas anteriormente. Parece haber una "altura de construcción umbral" (TBH, *threshold build height*) por encima de la cual el uso de potencia de láser pulsado no aumenta la deformación: en el caso del experimento (c), cinco capas CW de un grosor total de aproximadamente 1 mm fueron suficientes, lo que sugiere que la TBH en esta caso estaba a o por debajo de ese grosor. Dado que las condiciones de cada fabricación aditiva por capas son específicas de esta fabricación, es necesario determinar la TBH mediante un experimento o mediante referencia a otras fabricaciones similares. El principio rector es que cuando se consigue la TBH, el calor del punto de láser se distribuye en la estructura fabricada y así no se concentra en un área pequeña del sustrato. Por tanto pueden evitarse o reducirse la deformación plástica por compresión y las tensiones residuales posteriores

y la deformación. Naturalmente, las tensiones residuales pueden reducirse adicionalmente mediante recocido u otro tratamiento térmico tras haberse efectuado la fabricación aditiva por capas.

5 Aunque la invención se ha descrito con referencia a la variante de fusión selectiva por láser de ALF, también es aplicable a otros métodos de ALF tales como sinterización selectiva por láser, en la que el aporte de calor al polvo es suficiente para fundir partículas individuales entre sí, pero no es suficiente para formar un baño fundido de material. En esas variantes, la cantidad de deformación puede reducirse y puede no ser necesaria la fabricación de capas CW preliminares.

10 Además, aunque se ha descrito con referencia a material metálico en polvo, pueden usarse otros materiales en polvo fusibles con parámetros operativos apropiados para aquellos materiales, tal como conocerán los expertos en la técnica. Ejemplos de tales polvos son mezclas de fibras de vidrio o de carbono o partículas metálicas (por ejemplo aluminio, titanio o acero) mezcladas con poliimida, poliestireno u otros polímeros termoplásticos, o arena verde.

15 Las características en una estructura construida que se extienden significativamente en una dirección no perpendicular a la placa o sustrato original pueden conseguirse soportando la pieza de trabajo sobre una mesa o un manipulador multiaxial, de modo que puede ajustarse su orientación en relación con el eje de láser (vertical). Por ejemplo, para construir una característica que se extiende a 60° con respecto a la placa original, la propia placa tiene que fijarse a 60° con respecto al eje de láser.

20 Se apreciará que el propósito subyacente de usar inicialmente potencia de láser CW es aumentar el polvo específico aplicado al láser y por tanto la tasa a la que se funde material en polvo en una capa sobre el sustrato, produciendo de ese modo una capa más gruesa en una única pasada. Esto no requiere intrínsecamente potencia CW: puede conseguirse el mismo efecto aumentando la potencia pico de un láser pulsado, o aumentando el ciclo de servicio de sus pulsos, o reduciendo la tasa de desplazamiento.

25 También se apreciará que la técnica de reducción de la deformación puede aplicarse independientemente del uso de un láser pulsado: puede ser útil siempre que deba fabricarse una estructura construyendo capas delgadas mediante un método en el que el calor aplicado repetidamente mediante el láser en los muchos desplazamientos daría como resultado de lo contrario una deformación excesiva, tal como ya se ha comentado. Naturalmente, este método de fabricación alternativo de estructuras multicapa puede no proporcionar la exactitud, la capacidad de control o el acabado superficial que pueden obtenerse mediante el uso del láser pulsado.

30 Por tanto, resumiendo, la invención proporciona en un aspecto una fusión por capas selectiva u otro método de fabricación aditiva por capas, en el que se funde material en polvo calentándolo con un láser pulsado. En otro aspecto, las capas iniciales de la estructura de fabricación pueden formarse más gruesas que las capas posteriores, por ejemplo por medio de un láser CW, para reducir la deformación. Este aspecto de la invención puede emplearse independientemente del uso de un láser pulsado modulado para formar las capas más delgadas posteriores.

40

REIVINDICACIONES

- 5 1.- Un método de fabricación de un objeto (12 - 22) que comprende aplicar calor a material en polvo por medio de un rayo láser pulsado para fundirlo en una capa (22) sobre un sustrato (12) o sobre una capa formada anteriormente (20), caracterizado porque los pulsos se modulan mientras que el rayo está atravesando el sustrato para controlar el grosor y/o la anchura de la capa.
- 10 2.- El método según cualquier reivindicación anterior, que comprende suministrar el material en polvo al punto de aplicación (34) del láser al objeto a una tasa en relación con la potencia efectiva del rayo láser.
- 3.- El método según cualquier reivindicación anterior, en el que la cantidad de calor aplicada es tal, que el material en polvo se funde localmente.
- 15 4.- El método según cualquier reivindicación anterior, que comprende repetir el método al menos una vez para formar al menos una capa adicional (22) encima de al menos una capa formada anteriormente (20).
- 20 5.- El método según la reivindicación 4, que comprende modular el rayo láser, durante la formación de al menos dichas capas adicionales con la intención de que un lado del objeto formado por las capas presente una característica con un patrón o de refuerzo estructural.
- 6.- El método según la reivindicación 4 o la reivindicación 5, en el que la al menos una capa formada anteriormente (14) es adyacente o está próxima al sustrato (12), y se forma para que sea más gruesa que la al menos una capa adicional (16 - 22), para reducir de ese modo la deformación del sustrato.
- 25 7.- El método según la reivindicación 6, que comprende formar la al menos una capa más gruesa aplicando calor por medio de un láser de onda continua.
- 30 8.- Aparato de fabricación para fabricar un objeto (12 - 22), comprendiendo el aparato una placa de base (10) para soportar una pieza de trabajo, sobre la que pueden construirse capas sucesivas (12 - 22) de material, un sistema de suministro de polvo (32) para suministrar polvo a la proximidad de un punto de láser (34) sobre una superficie de la pieza de trabajo, un aparato láser (28, 30) adaptado para suministrar un rayo láser pulsado al punto de láser, estando montado el aparato láser (28, 30) para poder moverse en el plano paralelo a la superficie de la placa de base, y verticalmente en la dirección ortogonal a la misma, y un ordenador (26), caracterizado porque el ordenador está programado para modular los pulsos del rayo láser mientras controla el movimiento del láser con respecto a la placa de base para controlar de ese modo el grosor y/o la anchura de la capa (22) de material que está construyéndose.
- 35 9.- Un programa informático que, cuando se instala y se ejecuta, hace que el aparato de fabricación según la reivindicación 8 realice el método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.

40

Fig.1.

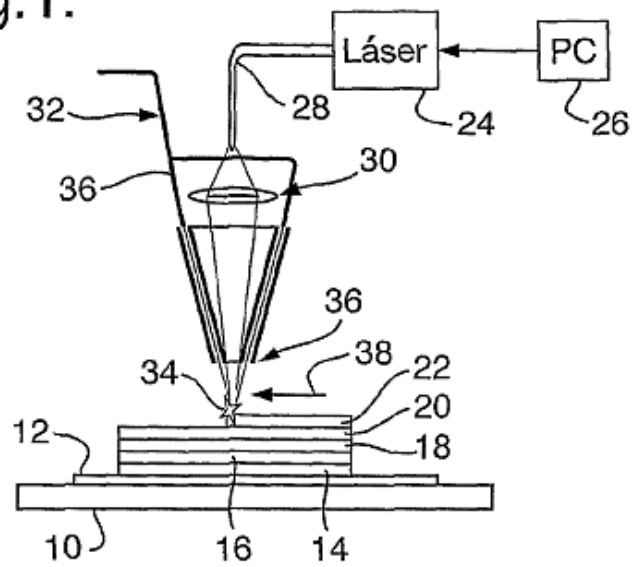


Fig.2(a).

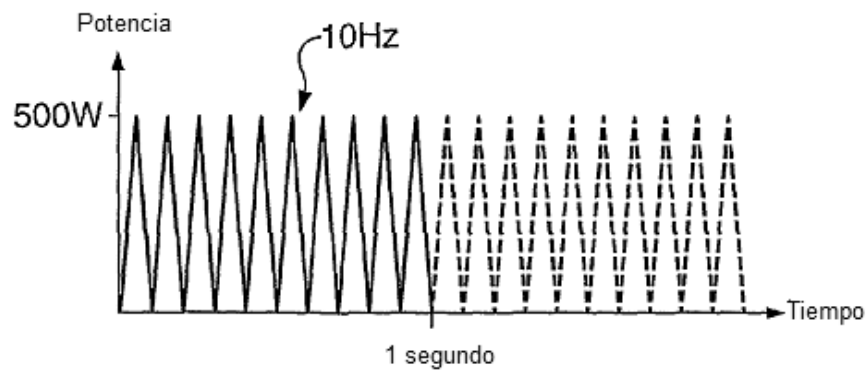


Fig.2(b).

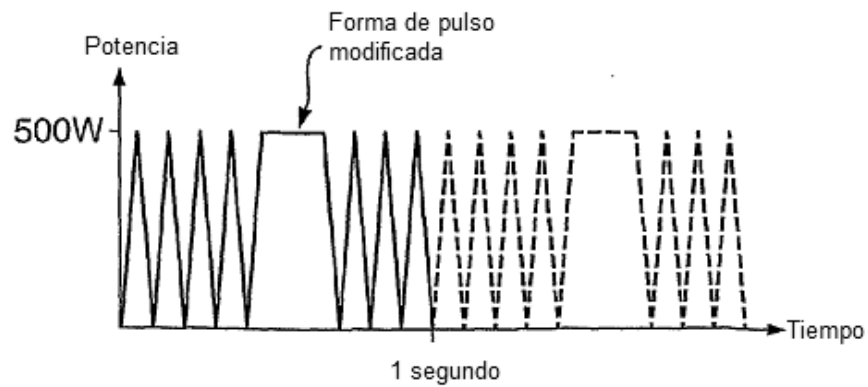


Fig.3(a).



Fig.3(b).

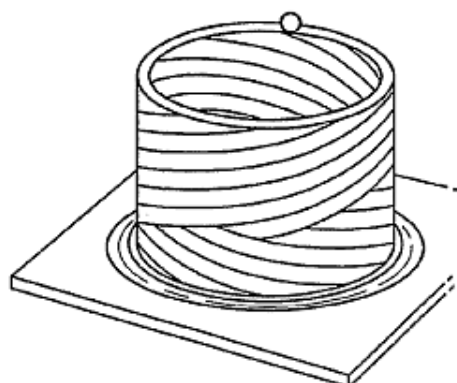


Fig.3(c).

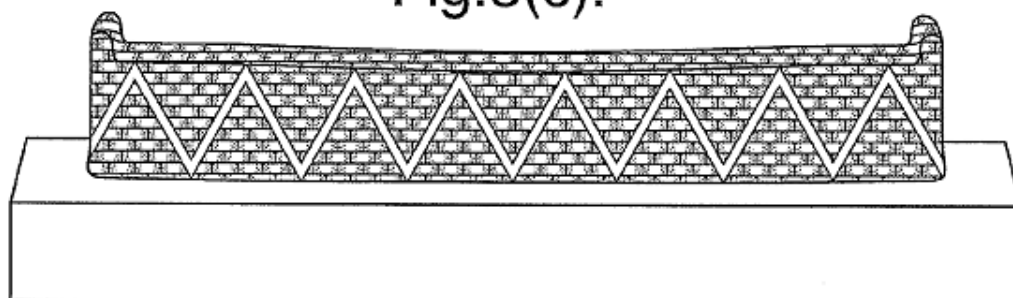


Fig.3(d).



Fig.4.

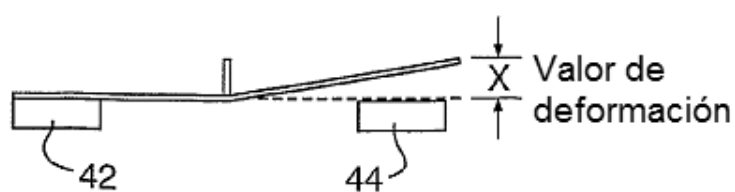
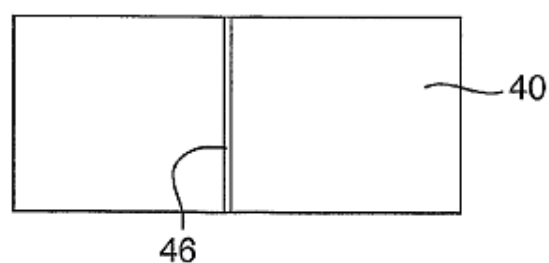


Fig.5(a).

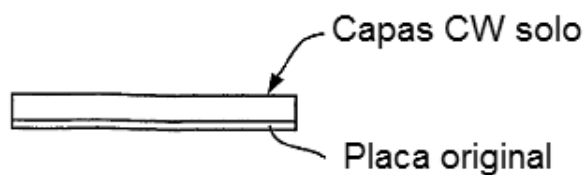


Fig.5(b).

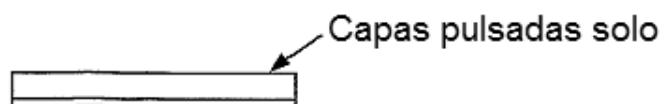


Fig.5(c).



Fig.5(d).

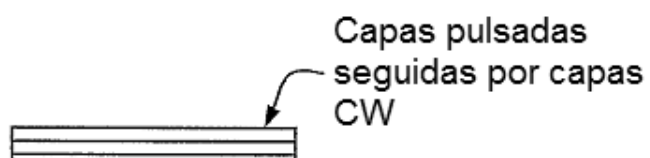


Fig.6(a).

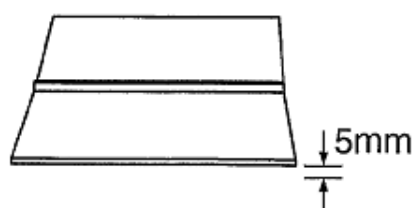


Fig.6(b).

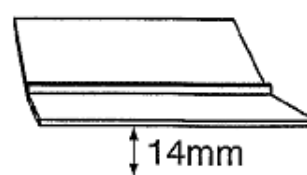


Fig.6(c).

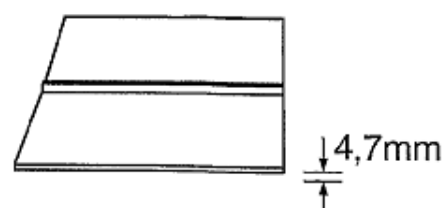


Fig.6(d).

