

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 388 013**

51 Int. Cl.:

B22F 3/10 (2006.01)

B22F 3/105 (2006.01)

G03F 7/004 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08747469 .8**

96 Fecha de presentación: **02.05.2008**

97 Número de publicación de la solicitud: **2150368**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **10.02.2010**

54 Título: **Sinterización directa de metal de acero 17-4PH**

30 Prioridad:
17.05.2007 US 749864

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
05.10.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
05.10.2012

73 Titular/es:
**The Boeing Company
100 North Riverside Plaza
Chicago, IL 60606-2016, US**

72 Inventor/es:
**LOW, Steven C;
CLARK, Jerry G.;
MUYLAERT, Neal W.;
NORD, Richard J.;
THOMPSON, Blair E.;
AKE, Bryan E. y
WILLIAMS, Reid W.**

74 Agente/Representante:
de Elzaburu Márquez, Alberto

ES 2 388 013 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

Sinterización directa de metal de acero 17-4PH.

5 CAMPO DEL INVENTO

Este invento se refiere a un método de sinterización selectiva por láser de un acero resistente a la corrosión.

ANTECEDENTES DEL INVENTO

10 La tecnología de prototipado (creación de prototipo) rápido proporciona a los diseñadores de piezas complejas un medio rápido y flexible mediante el cual fabricar piezas, a menudo prototipos o piezas de ensayo en pequeñas cantidades, las cuales no sería práctico conformar mediante un método de producción de moldeo por colada. La sinterización selectiva por láser (SLS) se encuentra entre las tecnologías más comunes de prototipado rápido disponibles en el ámbito comercial para la fabricación de una pieza mediante deposición de polvos capa por capa.

15 El SLS se puede realizar en una variedad de materiales incluidos, pero no limitado a, metales, materiales compuestos cerámica-metal (cermets), cerámicas y muchos polímeros. Un polvo del material de la pieza se mezcla con un material ligante y se distribuye sobre una superficie. Después de eso, se aplica un láser a la capa de polvo para fundir el material ligante. Según se va moviendo el láser siguiendo un patrón por encima de la capa, el ligante fundido se solidifica y se fusiona con el polvo. Se controla el patrón del láser para formar una capa que tenga la forma deseada de una pieza. Capas adicionales de polvo y ligante son tratadas de la misma manera para conformar la pieza deseada en una fabricación capa por capa. En esta etapa, a la pieza que contiene el ligante se le denomina pieza en verde.

20 Después de que se haya conformado la pieza en verde mediante el proceso SLS, se lleva dicha pieza a un horno en el que se elimina el ligante y se sinteriza ligeramente el polvo. A la pieza se le denomina entonces pieza en marrón. La pieza en marrón se sigue calentando para seguir sinterizando el polvo hasta que se conforma la pieza final. La pieza final se puede seguir tratando para mejorar las características de la pieza.

25 Las propiedades de la pieza final están determinadas por la selección de la composición del polvo y de los parámetros de fabricación. Hasta el día de hoy, no se ha desarrollado ninguna técnica de fabricación para conformar a partir de un material ferroso una pieza resistente a la corrosión que pueda ser tratada para desarrollar un amplio rango de propiedades.

30 El documento US 2004/0182202 explica una mezcla de polvo a utilizar en un proceso de conformado libre que utiliza un láser. La mezcla comprende un polímero que será fundido por el láser, un polvo de aleación de acero y un material en partículas con alto punto de fusión. El acero puede ser un 17-4 PH. A continuación se elimina el ligante mediante calor y se sinteriza la pieza mientras está siendo soportada.

35 Además, el documento US-B-6.630.009 explica una mezcla que comprende un agente ligante y polvos de acero inoxidable, como por ejemplo 17-4 PH, con la adición de polvo de NiB (composiciones C-F). Las piezas se conforman mediante prototipado rápido, eliminación del ligante y sinterización.

Es un objeto del invento proporcionar un método mejorado de sinterización selectiva por láser.

40 Este objeto es alcanzado por el método de sinterización de la reivindicación 1.

45 En este documento se explica un método para la fabricación de una pieza de alta resistencia, resistente a la corrosión, basada en material ferroso, mediante un proceso de fabricación por conformado libre como es definido por las reivindicaciones. El proceso incluye sinterización selectiva por láser de una mezcla de polvo metálico y ligante para conformar una pieza en verde utilizando datos de diseño asistido por ordenador (CAD). A continuación se sinteriza la pieza en verde para conformar la pieza final, la cual se puede seguir procesando.

50 El método del invento incluye fabricar una pieza sinterizada que tenga una composición de aproximadamente 15,5-17,5% de Cr, 3,5-4,5% de Ni, 3,5-4,5% de Cu, 0,15-0,45% de Nb+Ta, 0,1%-0,3% de B, 0-0,5% de Mn, 0-0,04 de P, 0,07% máximo de C, y el resto de Fe. Esta realización incluye además una cantidad de boro de aproximadamente 0,1%. La realización explica además un método para la fabricación de una pieza sinterizada, la cual es una pieza de acero que tiene una estructura martensítica substancialmente pura. La realización incluye además que la pieza de acero conformada tenga una densidad mayor de 7,5 g/cm³.

55 El método puede incluir una realización en la cual el polvo metálico se conforma para formar una pieza sinterizada que tiene una densidad mayor de 7,5 g/cm³, y en la cual la pieza sinterizada tiene una estructura martensítica substancialmente pura. Esta realización incluye además que la mezcla de polvo tenga aproximadamente 1,0 % de polvo de polímero, y que el polvo metálico tenga una composición que incluya aproximadamente 15,5-17,5% de Cr,

3,5-4,5% de Ni, 3,5-4,5% de Cu, 0,15-0,45% de Nb+Ta, 0-0,5% de Mn, 0-0,04 de P, 0,07% máximo de C, y el resto de Fe. Esta realización también incluye sinterización selectiva por láser mediante un láser que tenga una potencia en el rango de desde aproximadamente 10W hasta aproximadamente 35 W.

- 5 En este documento se explican aspectos adicionales del método. Otras características y ventajas del presente invento se pondrán de manifiesto a partir de la siguiente descripción más detallada de la realización preferente, tomada en conjunto con los dibujos adjuntos que ilustran, a modo de ejemplo, los principios del invento.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

- 10 La figura 1 muestra una vista lateral seccionada de un aparato SLS de la técnica anterior.
La figura 2 ilustra una gráfica de temperatura y presión de ejemplo para un proceso de ciclo único.
La figura 3 ilustra una gráfica de temperatura y presión de ejemplo para un proceso de obtención de la pieza en marrón.
La figura 4 ilustra una gráfica de temperatura y presión de ejemplo para un proceso de sinterización.
15 La figura 5 muestra características de una pieza sinterizada de 17-4PH.
La figura 6 muestra una comparativa del efecto de la concentración de boro.
La figura 7 muestra una comparativa adicional del efecto de la concentración de boro.
La figura 8 muestra el efecto de la concentración de boro sobre el ciclo de vida.

20 DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL INVENTO

- En lo que sigue se describirá ahora con mayor detalle el presente invento haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales se muestra una realización preferente del invento. Este invento se puede, sin embargo, implementar de muchas formas diferentes y no se debería interpretar que está limitado a las realizaciones descritas en este documento; en lugar de eso, se proporcionan estas realizaciones para que esta explicación sea minuciosa y
25 completa y transmita completamente el alcance del invento a aquellas personas con experiencia en la técnica. Todos los porcentajes de composición se dan como porcentajes en peso, a menos que se especifique otra cosa diferente.

- El presente invento está dirigido a un método de fabricación por conformado libre de un componente metálico a partir de un polvo mediante sinterización selectiva por láser seguido por sinterización en horno para conformar una
30 pieza con la forma final o con forma próxima a la final deseada. El método, el cual puede utilizar datos de diseño asistido por ordenador (CAD), tiene utilidad en la producción rápida de prototipos metálicos de formas complejas y para fases de producción de pequeños lotes completos de componentes o moldes de alto coste sin necesidad de herramientas u operaciones de mecanizado especiales.

- 35 La mezcla de polvo inicial incluye un polvo metálico y un polvo de polímero. El polvo metálico puede ser un único polvo que forma substancialmente la composición de la pieza sinterizada, o el polvo metálico puede ser una mezcla de polvos que en conjunto forman substancialmente la composición final de la pieza sinterizada. El tamaño del polvo metálico está generalmente en el rango de 1-55 micrómetros, y preferiblemente en el rango de 25-55 micrómetros.
40 El polvo metálico puede ser una distribución de un único tamaño de polvo, o puede estar formado por una combinación de distribuciones de tamaños de polvo. Por ejemplo, el polvo metálico puede estar formado por dos polvos metálicos que tengan diferentes composiciones pero que tengan ambos el mismo tamaño medio de partícula. Por ejemplo, el polvo metálico puede estar formado por un primer polvo metálico y un segundo polvo metálico, que tengan ambos un tamaño medio de polvo de 44 micras. De forma alternativa, el polvo metálico puede estar formado
45 por un primer polvo metálico y un segundo polvo metálico, que tengan ambos diferente tamaño medio de polvo.

- El polvo metálico puede tener una composición de polvo de aleación de acero inoxidable y, en concreto, puede ser un polvo de aleación de acero 17-4PH. La composición de la aleación 17-4PH incluye los siguientes porcentajes en peso aproximados: Cr=15,5-17,5%, Ni=3,5-4,5%, Cu=3,5-4,5%, Nb+Ta=0,15-0,45%, Si=0-0,5, Mn=0-0,5, P=0-0,04,
50 C=0,07% máximo, y el resto de Fe. La aleación 17-4PH proporciona la resistencia a la corrosión de un acero inoxidable auténtico 304, pero es tan fuerte como el acero inoxidable martensítico 420. Los polvos metálicos se pueden conformar mediante cualquier método convencional en el estado del arte, por ejemplo, mediante pulverización de metal fundido.

- 55 El polvo metálico incluye una ayuda a la sinterización. Se añade boro de difusión rápida al polvo metálico en una cantidad de desde aproximadamente el 0,1% hasta menos del 0,3% de peso total de polvo metálico para mejorar la estructura de los poros conformando formas de poro más esféricas en el cuerpo sinterizado. En un ejemplo, boro en una cantidad de aproximadamente el 0,15% proporcionó una forma de poro esférica mejorada en el cuerpo sinterizado resultante. Si se usa más de un polvo para formar la aleación, se puede añadir el boro sólo a un polvo
60 metálico, o se puede añadir el boro a más de uno de los polvos que forman la aleación o a todos ellos. Por ejemplo, un primer polvo metálico con una composición 17-4PH se puede mezclar con un segundo polvo metálico con una composición 17-4PHB. La composición 17-4PHB es una composición 17-4PH aleada con boro para formar una

mezcla de aleación de polvo total que tenga una cantidad total de boro de desde aproximadamente 0,1% hasta menos de 0,3% de peso total de polvo metálico.

5 El ligante puede ser un polvo de polímero termoplástico, más en concreto una poliamida de nylon, y más concretamente puede ser un polvo de poliamida de nylon 12 como por ejemplo OGRASOL® Nylon 12 fabricado por la empresa Arkema de París, Francia. El ligante se proporciona en una cantidad de entre aproximadamente 1% y aproximadamente 3% en peso de la mezcla de polvo total. Se prefiere una cantidad de ligante de aproximadamente 1%. El ligante tiene un tamaño medio del polvo de aproximadamente 4 micrómetros. El citado ligante se puede añadir como un polvo separado a la mezcla de polvo de aleación, o se puede aplicar dicho ligante como
10 revestimiento al polvo metálico. En un ejemplo, el ligante se aplica como revestimiento sobre a un polvo de 17-4PH y se mezcla con un polvo de 17-4PHB no revestido para conformar la mezcla total de polvo.

15 En la figura 1 se muestra un proceso SLS tal como es conocido en el estado del arte. La figura 1 muestra una vista lateral seccionada de un aparato 10 de SLS y una pieza 15 que está en fabricación. El aparato 10 de SLS incluye paredes 12 laterales y una plataforma o mesa 14. La mesa 14 puede estar construida para que descienda por incrementos por el interior de las paredes 12 para formar una cavidad para contener a una mezcla 18 de polvo que va a ser sinterizada. Sobre el aparato puede estar situado un esparcidor 20 de polvo para esparcir capas medidas de mezcla 18 de polvo encima de la mesa 14 dentro de la cavidad de sinterización.

20 En el presente proceso se usa la mezcla 18 de polvo para construir una preforma de la pieza 15 deseada. La mezcla 18 de polvo contiene un polvo metálico para formar la composición de aleación final de la pieza 15 y un polvo de ligante. El esparcidor 20 de polvo se usa para extender una fina capa de 25,4 – 50,8 micrómetros (0,001 a 0,002 pulgadas) de mezcla 18 de polvo encima de la mesa 14, la cual está situada inicialmente justo por debajo de la parte superior de las paredes 12. La mesa 14 se puede calentar con bobinas 16 para llevar la temperatura de la mezcla 18 de polvo a un nivel deseado por debajo del punto de fusión del constituyente de ligante polimérico. Por encima de la
25 capa de mezcla 18 de polvo se hace pasar un haz 22 procedente de un láser 24. El haz 22 puede estar dirigido por un procesador 25 informático que tiene un fichero de datos de diseño asistido por ordenador (CAD) para la pieza 15 con el fin de realizar la sinterización selectiva por láser de la mezcla 18 de polvo. La función del haz 22, dirigido por el procesador 25, es proporcionar un calentamiento preciso y localizado de la mezcla 18 de polvo. Preferiblemente, el haz 22 es proporcionado por un láser en la zona del infrarrojo o cercana al infrarrojo, aunque se puede usar cualquier haz focalizado de energía que sea suficientemente intenso para generar un calentamiento preciso y localizado. Se puede usar un haz 22 que tenga una potencia en el rango de desde aproximadamente 10W hasta aproximadamente 35W, siendo preferible un haz 22 que tenga una potencia de aproximadamente 15W.

35 El proceso SLS provoca una fusión localizada del constituyente polimérico de una capa de mezcla 18 de polvo según se va haciendo pasar el haz 22 láser sobre él. El polímero fundido se vuelve a solidificar rápidamente para unir el polvo metálico de la mezcla 18 de polvo mediante cuellos o puentes de conexión entre polvos metálicos. Después de que el haz 22 láser ha completado el barrido de una capa de mezcla 18 de polvo, se hace descender la mesa 14 un incremento predeterminado, se esparce una nueva capa de mezcla 18 de polvo por encima de la capa anterior, y se repite el proceso SLS para construir la pieza 15 capa por capa de acuerdo con el plan de diseño proporcionado por el procesador 25 informático. La pieza 15 es conocida en el estado del arte como pieza en verde. La pieza 15 se puede conformar por procesos SLS alternativos.

45 Después de que la pieza 15 en verde se ha conformado por SLS, se saca dicha pieza 15 en verde del aparato 10 SLS y se coloca dentro de un horno de sinterización. El horno de sinterización es preferiblemente un horno de vacío, y la fuente de calor puede ser de resistencia, de microondas, ultrasónica u otro método de calentamiento convencional tal como se conoce en la técnica. El horno de sinterización se calienta para eliminar en primer lugar el ligante y sinterizar a continuación el polvo metálico para conformar una pieza a su forma final o próxima a la forma final. El calentamiento se puede realizar como un proceso de calentamiento de ciclo único o de ciclo dual. La pieza sinterizada se puede someter a continuación a operaciones secundarias.

55 En la figura 2 se muestra un proceso de sinterización de ciclo único de ejemplo. El proceso se puede realizar sobre piezas que están soportadas por medios de soporte. Los medios de soporte pueden ser arena para fundición, nitruro de boro u otras cerámicas o medios conocidos en la técnica. De forma alternativa, el proceso se puede realizar sobre piezas que no están soportadas por medios de soporte.

60 Como se muestra en la figura 2, el primer paso del proceso de sinterización incluye hacer el vacío en el horno y volver a rellenarlo con argón hasta aproximadamente 93,3 kPa (700 torr). El segundo paso incluye calentar el horno hasta aproximadamente 200° C a una velocidad de aproximadamente 5° C/min. El tercer paso incluye calentar desde aproximadamente 200° C hasta aproximadamente 900° C a una velocidad de aproximadamente 2° C/min. A continuación se mantiene el horno a aproximadamente 900° C durante aproximadamente 15 minutos. Entonces se hace el vacío en el horno hasta aproximadamente 40 kPa (300 torr) y se aumenta la temperatura hasta

aproximadamente 1350° C a una velocidad de aproximadamente 2° C/min. Se mantiene el horno a 1350° C durante aproximadamente 10 minutos a vacío.

5 A continuación se deja enfriar el horno desde aproximadamente 1350° C hasta aproximadamente 750° C con los calentadores apagados mientras se hace pasar agua fría a través de la cuba del horno. La velocidad de enfriamiento es de entre 10° C/min. a 20° C/min. El horno se vuelve a rellenar entonces con argón hasta aproximadamente 93,3 kPa (700 torr) y se enfría desde aproximadamente 750° C hasta temperatura ambiente con la refrigeración de la cuba del horno encendida y con refrigeración adicional mediante un intercambiador de calor interno que enfría el argón. La velocidad de enfriamiento es de entre aproximadamente 10° C/min hasta aproximadamente 20° C/min.

10 En las figuras 3 y 4 se muestra un proceso de sinterización de ciclo dual de ejemplo. Como se muestra en la figura 3 el proceso de ciclo dual incluye un proceso inicial de obtención de la pieza en marrón. El proceso de obtención de la pieza en marrón se usa para eliminar el ligante de la pieza 15 con el fin de conformar una pieza en marrón. La pieza en marrón se somete a continuación a un proceso de sinterización como se muestra en la figura 4. El proceso de sinterización sigue sintetizando y densificando la pieza en marrón para conformar una pieza final.

15 El proceso de obtención de la pieza en marrón se realiza sobre piezas en verde que pueden estar soportadas por un medio de soporte. El medio de soporte puede ser arena para fundición, nitruro de boro u otra cerámica o medio conocido en la técnica. El medio de soporte puede ser necesario si la resistencia del ligante y las características del polvo metálico para una geometría de pieza dada no son suficientes para evitar que la pieza colapse durante la eliminación del ligante inicial.

20 Como se muestra en la figura 3, el primer paso incluye hacer el vacío en el horno y volver a rellenarlo con argón hasta aproximadamente 93,3 kPa (700 torr). El segundo paso incluye calentar el horno hasta aproximadamente 200° C a una velocidad de aproximadamente 5° C/min. El tercer paso incluye calentar desde aproximadamente 200° C hasta aproximadamente 900° C a una velocidad de aproximadamente 2° C/min. El horno se mantiene entonces a aproximadamente 900° C durante aproximadamente 15 minutos. A continuación se hace el vacío en el horno hasta aproximadamente 40 kPa (300 torr) y se aumenta la temperatura hasta aproximadamente 1150° C a una velocidad de aproximadamente 2° C/min. Se mantiene el horno a aproximadamente 1150° C durante aproximadamente 10 minutos. La temperatura del horno se reduce desde aproximadamente 1150° C hasta aproximadamente 750° C con los calentadores apagados y con el intercambiador de calor de la cuba del horno funcionando. La velocidad de enfriamiento es de entre aproximadamente 10° C/minuto hasta aproximadamente 20° C/minuto. El horno se vuelve a rellenar entonces con argón hasta aproximadamente 93,3 kPa (700 torr) y se enfría desde aproximadamente 750° C hasta temperatura ambiente con el intercambiador de calor de la cuba del horno funcionando, y con refrigeración adicional mediante un intercambiador de calor interno que enfría el argón. La velocidad de enfriamiento es de entre aproximadamente 10° C/min. hasta aproximadamente 20° C/min..

25 En este momento se puede sacar del horno la pieza en marrón para realizar operaciones secundarias, o la citada pieza en marrón puede ser sometida al proceso de sinterización en el mismo horno utilizado para el proceso de proceso de obtención de la pieza en marrón. Además, la pieza en marrón puede ser sacada del horno y procesada en un momento posterior.

30 La pieza en marrón conformada se puede modificar antes del proceso de sinterización. La pieza en marrón se puede mecanizar, taladrar o modificar de cualquier otra forma en esta etapa en marrón con mayor facilidad que después del proceso de sinterización. Después de cualquier modificación, la pieza en marrón está entonces lista para el proceso de sinterización.

35 El proceso de sinterización se puede realizar sobre una pieza en marrón sin necesidad de medios de soporte dado que la pieza en marrón debería tener suficiente resistencia para que no colapse durante la sinterización. En la mayoría de los casos, la presencia de un medio de soporte a temperaturas de sinterización contaminará la pieza o afectará negativamente a las características de la misma, pero puede haber casos en los que la presencia de un medio de soporte no sea perjudicial para la pieza sinterizada.

40 Como se muestra en la figura 4, el primer paso durante la etapa de sinterización incluye hacer el vacío en el horno y volver a rellenarlo con argón hasta aproximadamente 93,3 kPa (700 torr). El segundo paso incluye calentar el horno hasta aproximadamente 200° C a una velocidad de aproximadamente 5° C/min. El tercer paso incluye calentar desde aproximadamente 200° C hasta aproximadamente 900° C a una velocidad de aproximadamente 2° C/min. El horno se mantiene entonces a aproximadamente 900° C durante aproximadamente 15 minutos. A continuación se hace el vacío en el horno hasta aproximadamente 40 kPa (300 torr) y se aumenta la temperatura hasta aproximadamente 1350° C a una velocidad de aproximadamente 2° C/min. El horno se mantiene a aproximadamente 1350° C durante aproximadamente 10 minutos a vacío.

- 5 A continuación se deja enfriar el horno desde aproximadamente 1350° C hasta aproximadamente 750° C con el intercambiador de calor de la cuba del horno encendido. La velocidad de enfriamiento es de entre aproximadamente 10° C/min. hasta aproximadamente 20° C/min. Se vuelve a rellenar el horno con argón hasta aproximadamente 93,3 kPa (700 torr) y se enfría desde aproximadamente 750° C hasta temperatura ambiente con el intercambiador de calor de la cuba del horno encendido, y con refrigeración adicional procedente de un intercambiador de calor interno que enfría el argón. La velocidad de enfriamiento es de entre aproximadamente 10° C/min. hasta aproximadamente 20° C/min. La pieza sinterizada se saca del horno.
- 10 Sobre la pieza sinterizada se pueden realizar operaciones secundarias mecánicas incluyendo mecanizado, taladrado, pulido y densificación superficial. Además, sobre la pieza sinterizada se pueden realizar tratamientos térmicos incluyendo compresión isostática en caliente.
- 15 Se explican ahora los resultados de ensayos realizados sobre piezas procesadas mediante el proceso de ciclo único y el proceso de ciclo dual. Los ensayos se realizaron sobre una mezcla de polvo que contenía 1,0% de ORGASOL ® Nylon 12 con un tamaño medio de polvo de aproximadamente 4 micras y una mezcla de polvo de 17-4PH y de polvo de 17-4PHB que proporcionan un porcentaje total de boro en el polvo metálico de aproximadamente el 1,0%. El polvo 17-4PH tenía una composición que incluía Cr=17,2% aproximadamente, Ni=4,1% aproximadamente, Cu=4,2% aproximadamente, Nb+Ta=0,37% aproximadamente, Si=0,4 aproximadamente, Mn=0,3 aproximadamente, C=0,01% aproximadamente, y el resto de Fe. Una variedad de formas de piezas incluyendo formas planas simples y formas que exhiben flexión biapoyada, flexión en voladizo, doble cizalladura y tracción fueron producidas mediante SLS y sometidas a los siguientes procesos.
- 20 Se realizaron una serie de ensayos utilizando el proceso de ciclo único. Se realizaron ensayos en horno sobre pieza soportadas y no soportadas para quemar inicialmente el ligante y completar la sinterización final. Un primer grupo de ensayos se realizaron sobre formas no soportadas. El proceso resultó apropiado para piezas planas, pero para piezas más complejas los perfiles iniciales produjeron fallo estructural durante el quemado del ligante y antes de la unión del polvo metálico.
- 25 Se realizó un segundo grupo de ensayos de ciclo único sobre formas soportadas. Se observó que las piezas soportadas en arena de fundición, en medios cerámicos y en nitruro de boro eran dimensionalmente inaceptables debido al abombado provocado por la incapacidad de los medios de soporte para salir de las cavidades que disminuyen según se va produciendo la contracción. Piezas soportadas en arena y en medios cerámicos fueron no deseables también debido a depósitos de productos de reacción a la temperatura de sinterización, vitrificación de los medios, y adhesión de partículas de los medios a la pieza sinterizada. Se observaron disminuciones de la resistencia a tracción y de la resistencia a fatiga para piezas sinterizadas en medios de soporte de arena y de nitruro de boro. El análisis químico de la superficie de piezas sinterizadas en medios de soporte de nitruro de boro reveló que la superficie de la pieza resultó enriquecida en boro procedente de la exposición al nitruro de boro a las temperaturas de sinterización máximas y éste es con toda probabilidad el factor que contribuye a la reducida resistencia a fatiga.
- 30 Se realizó una segunda serie de ensayos utilizando el proceso de ciclo dual. Los ensayos en horno se realizaron sólo sobre piezas soportadas durante el proceso de eliminación del ligante para obtención de la pieza en marrón. Esta decisión se basó en la necesidad de medios de soporte durante la primera serie de ensayos para evitar el colapso. Se procesaron diferentes formas de piezas con el proceso de ciclo dual para determinar si el quemado del ligante se podría conseguir sin colapso o deformación durante el proceso de obtención de la pieza en marrón.
- 35 40 45 Las piezas se calentaron inicialmente en un horno utilizando el proceso de obtención de la pieza en marrón. Se eliminó el ligante de las piezas y se estabilizaron dichas piezas mediante unión de partículas después de su exposición a temperaturas entre aproximadamente 900° C y aproximadamente 1150° C. Se utilizaron medios de nitruro de boro para soportar las piezas en un crisol de alúmina durante el ciclo de obtención de la pieza en marrón. No se usaron medios de cerámica o de arena después de que los ensayos iniciales mostraran que producían decoloración causada por productos de reacción a menores temperaturas. Ensayos de prueba mostraron que la pieza en marrón para la aleación 17-4PH es considerado inicialmente el estado de material que resulta de la exposición a aproximadamente 1150° C durante aproximadamente 10 minutos. Este punto se elige principalmente a la temperatura antes del cambio de fase de partícula, y a la que se establece definitivamente unión de partículas pequeñas, pero antes de que empiece una contracción significativa.
- 50 55 Las piezas en marrón dentro de los medios de soporte se sacaron del horno y se separaron de dichos medios de soporte. A continuación las piezas en marrón se volvieron a colocar en el horno y se calentaron utilizando el proceso de sinterización. Las piezas sinterizadas se conformaron sin agrietamiento, deformación o colapso. Dichas piezas sinterizadas se conformaron con una estructura martensítica substancialmente pura. Las citadas piezas sinterizadas se obtuvieron con propiedades como las mostradas en la figura 5. La figura 5 también incluye las propiedades de una pieza sinterizada de ejemplo de acuerdo con el invento. Una persona con experiencia en la técnica debería observar que, en lugar de controlar la velocidad de enfriamiento para producir una estructura martensítica
- 60

substancialmente pura, se podría conformar inicialmente una pieza con una estructura mixta martensítica y austenítica y se podría tratar térmicamente a continuación para conformar una estructura martensítica deseada.

5 Se realizaron granallado superficial y compresión isostática en caliente (HIPping) para determinar el efecto que tienen estos procesos posteriores a la sinterización sobre la resistencia a la fatiga y sobre la porosidad. Las tensiones residuales de compresión en la superficie de las muestras granalladas hicieron aumentar la resistencia a la fatiga de las piezas procesadas por ciclo dual en un 180%. Se cree que la inesperada magnitud de esta mejoría es resultado de la deformación superpuesta del material solapado en la superficie de la pieza.

10 El HIPping produjo una reducción del 74% en la resistencia a fatiga. Esto se debió con toda probabilidad a un deterioro de la superficie como puso de manifiesto la decoloración de la superficie. El HIPping redujo el tamaño de poro y el número de poros reconocibles en 50% y 25% respectivamente. Sin embargo, el HIPping no será un proceso viable posterior a la sinterización hasta que se hagan avances que eliminen el deterioro del acabado superficial como el contribuyente principal al inicio de las grietas.

15 Se realizaron ensayos de ciclo dual adicionales con cantidades variables de ligante entre aproximadamente 0,5% y aproximadamente 3,0% a intervalos de aproximadamente 0,25% mientras se variaba la potencia del láser entre aproximadamente 10W y aproximadamente 35W a intervalos de aproximadamente 5W. Estos ensayos determinaron que aproximadamente un 1,0% de ligante y aproximadamente 15W de potencia del láser produjeron características óptimas de resistencia en verde, definición de detalles y contracción final después de la sinterización.

20 Se realizaron ensayos adicionales con aproximadamente 0%, aproximadamente 0,2%, aproximadamente 0,3% de boro y aproximadamente 1,0% de ligante. Se midieron características físicas para determinar el efecto del boro sobre el alargamiento, la resistencia a la tracción y la resistencia a la fatiga. En la figura 6 se presentan los resultados de estos ensayos en cuanto a alargamiento y resistencia a tracción. Las características medidas de porcentaje de alargamiento y resistencia última a tracción se presentan de forma gráfica en la figura 7. Estos resultados indican un beneficio inesperado para una concentración de aproximadamente 0,1% de boro y aproximadamente 1% de ligante. Para estas cantidades, se consiguieron piezas con más de un 6% de mejora en alargamiento, y con una resistencia última a tracción mayor que 140 ksi.

25 Además, estas piezas fueron sometidas a tres niveles de tensiones alternantes con un factor de inversión de la carga de 0,1 para determinar la resistencia a la fatiga. Los resultados de estos ensayos se muestran en la figura 8. Como se puede ver en dicha figura 8, una adición de aproximadamente el 0,1% de boro produjo un mejor resultado en cuanto al número de ciclos.

30 Aunque se ha descrito el invento haciendo referencia a una realización preferente, aquellas personas con experiencia en la técnica comprenderán que se pueden hacer diferentes cambios y elementos del mismo se pueden sustituir por equivalentes. Además, se pueden hacer muchas modificaciones para adaptar una situación o material particular a las enseñanzas del invento. Por lo tanto, se pretende que el invento no esté limitado a la realización concreta explicada como el mejor modo considerado para llevar a cabo este invento, sino que el invento incluirá todas las realizaciones que caen dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

35
40

REIVINDICACIONES

1. Un método de sinterización de un polvo, que comprende:
- 5 mezclar un polvo de polímero y un polvo metálico para formar una mezcla de polvo;
sinterizar selectivamente por láser la mezcla de polvo, lo cual provoca fusión localizada del constituyente
polimérico de una capa de la mezcla (18) de polvo, para conformar una pieza en verde que comprenda el
constituyente polimérico;
- 10 calentar la pieza en verde, mientras está siendo soportada por un medio de soporte, para eliminar el
constituyente polimérico y conformar una pieza en marrón;
enfriar la pieza en marrón hasta temperatura ambiente, sacar la pieza en marrón del horno y separar dicha
pieza en marrón del medio de soporte; y sinterizar la citada pieza en marrón para conformar una pieza
metálica sinterizada;
- 15 en el cual el polvo metálico comprende polvo de aleación 17-4PH.
2. El método de la reivindicación 1, en el cual el polvo metálico comprende entre 0,1% y 0,3% de boro.
3. El método de la reivindicación 2, en el cual el polvo metálico comprende aproximadamente 0,1% boro.
- 20 4. El método de la reivindicación 1, en el cual la sinterización selectiva por láser se realiza mediante un láser que
tiene una potencia en el rango de 10W a 35W.
5. El método de la reivindicación 3, en el cual la mezcla de polvo comprende 1,0% de polvo de polímero.
- 25 6. El método de la reivindicación 3, en el cual el polvo metálico tiene una composición que comprende además del
boro:
- 30 15,5-17,5% de Cr;
 3,5-4,5% de Ni;
 3,5-4,5% de Cu;
 0,15-0,45% de Nb+Ta;
 0-0,5% de Mn;
 0-0,04% de P;
 0,07% máximo de C; y
- 35 el resto de Fe.
7. El método de la reivindicación 4, en el cual la sinterización selectiva por láser se realiza mediante un láser que
tiene una potencia de 15W.
- 40

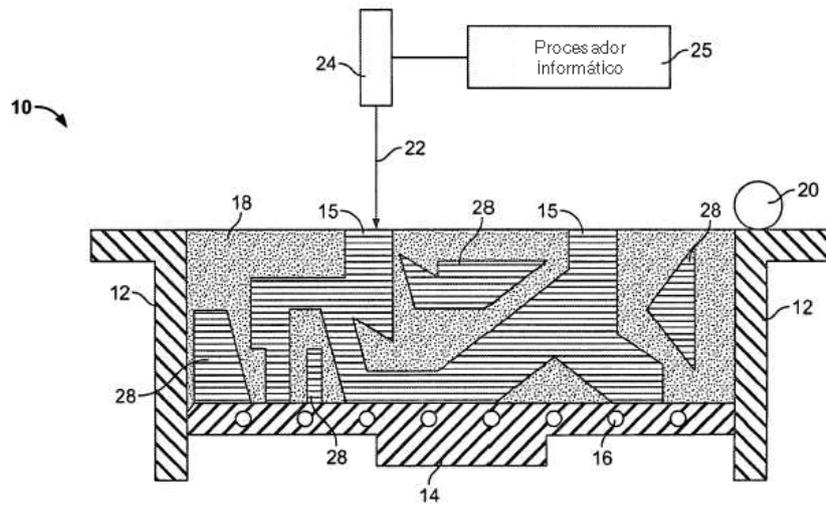


FIG. 1
(Técnica Anterior)

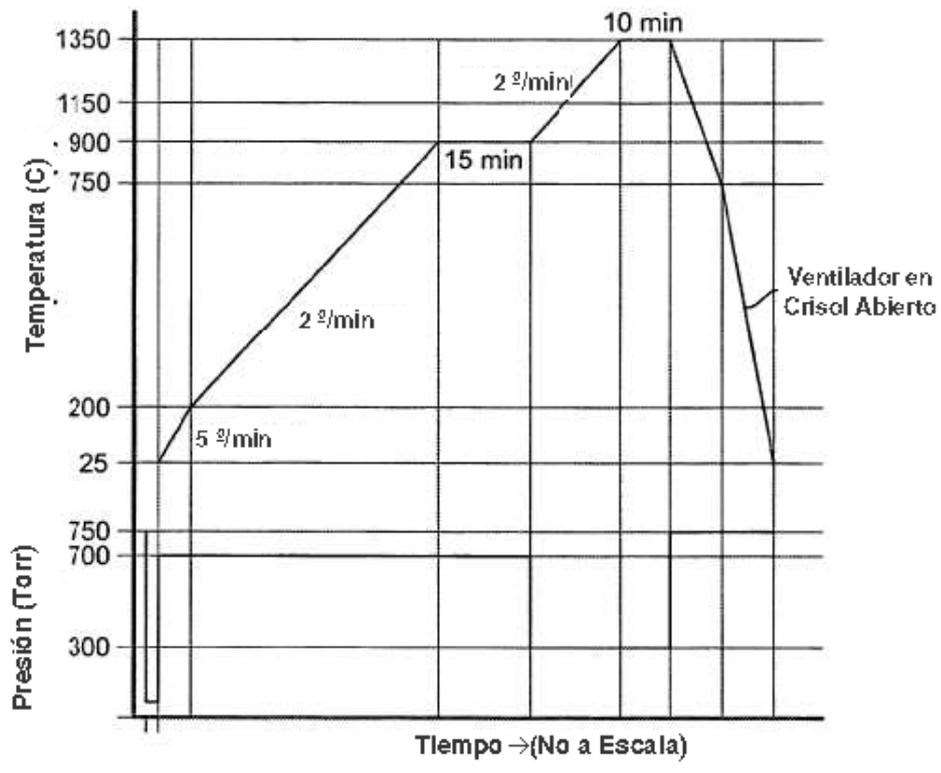


FIG. 2

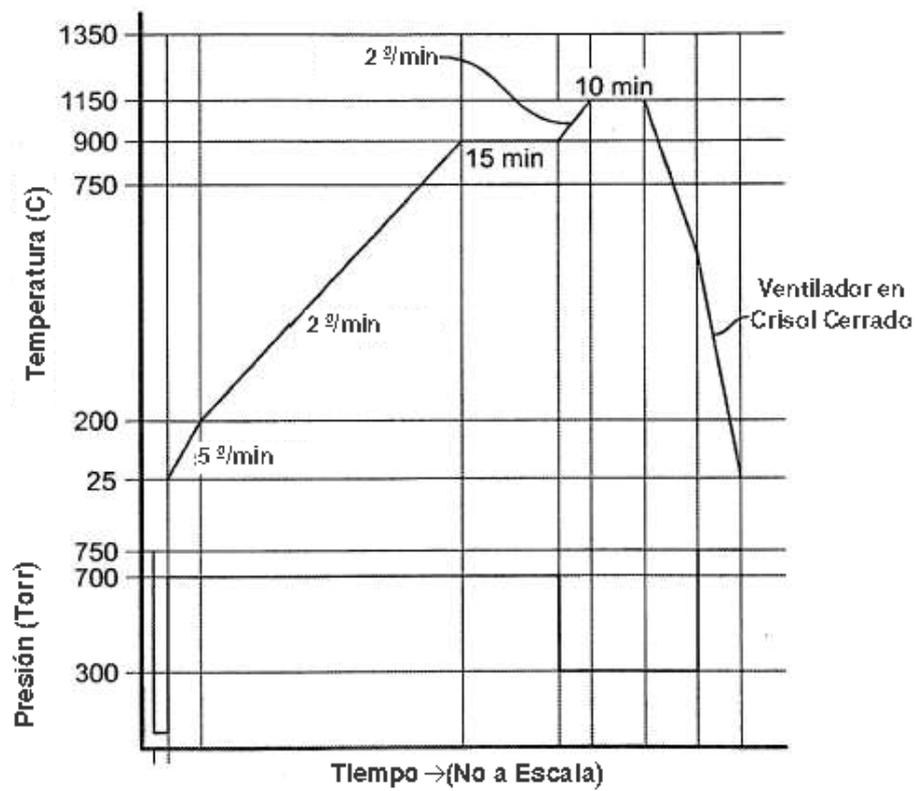


FIG. 3

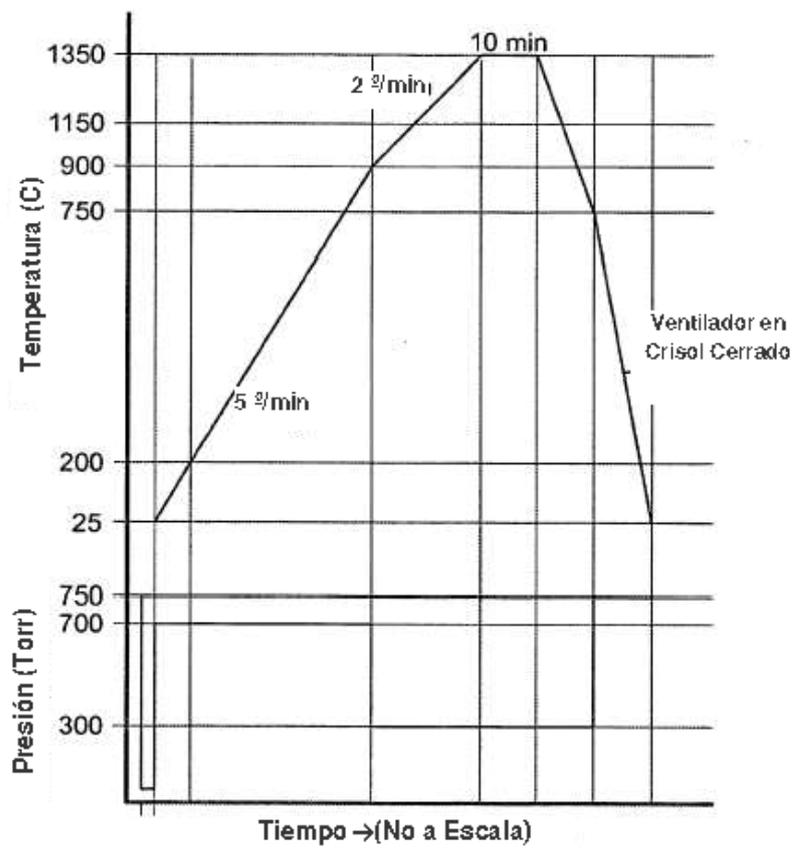


FIG. 4

	DIMS 17-4 CRES Propiedades mecánicas en estado sinterizado	DIMS 17-4 CRES Ejemplo
Densidad, g/cm ³	> 7,5	7,5
UTS ksi	> 140	143
YS ksi	> 80	83
Alargamiento	> 6%	6,2
Vida a Fatiga (R=0,1)		
Ciclos @ 40 ksi	10 x 10 ⁶	10 x 10 ⁶
@ 70 ksi	> 175.000	175.000
@ 85 ksi	> 71.000	71.000

FIG. 5

% Boro	Anchura	Espesor	Área	Carga plastif.	Límite elást.	Carga últ.	Resist Tracción	Módulo	Alarg
0	0,422	0,127	0,054	3514,6	65,6	5666,8	105,7	7,062	5,015
0	0,425	0,13	0,055	3385,4	61,3	5645,3	102,2	6,744	5,133
0,1	0,418	0,118	0,049	4112,8	83,4	7096	143,9	9,022	6,606
0,1	0,414	0,12	0,05	4310,6	86,8	7109,6	143,1	8,812	6,244
0,2	0,415	0,122	0,051	4125,9	81,5	7514,1	148,4	8,002	4,81
0,2	0,419	0,12	0,05	4137,5	82,3	7429	147,8	9,196	4,592
0,3	0,403	0,132	0,053	4254,9	80	7454,6	140,1	8,255	4,342
0,3	0,404	0,135	0,055	4415,9		7594,6	139,2	8,5	3,755

FIG. 6

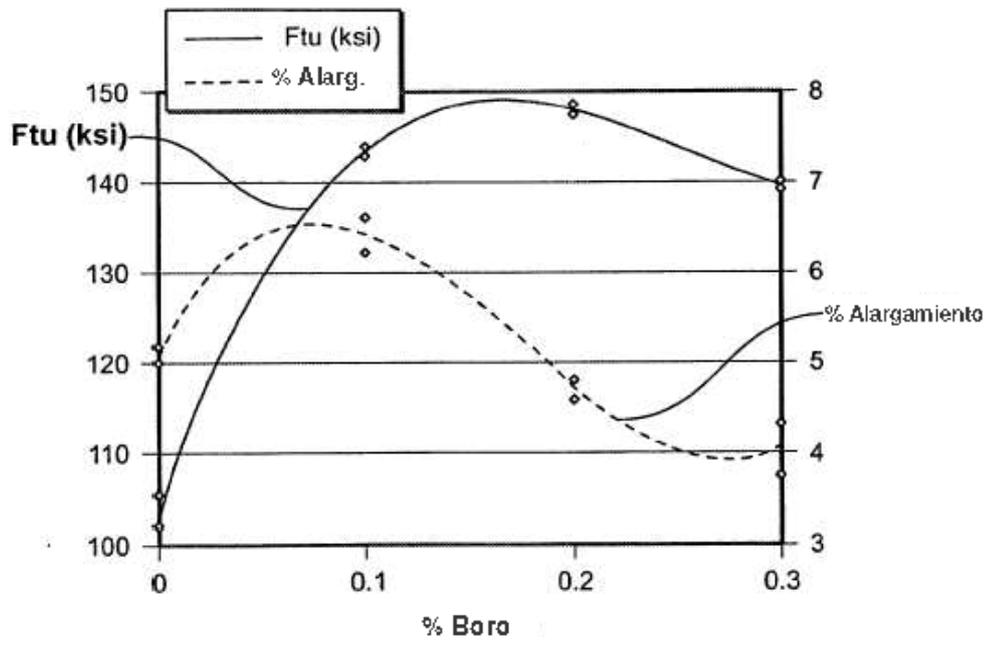


FIG. 7

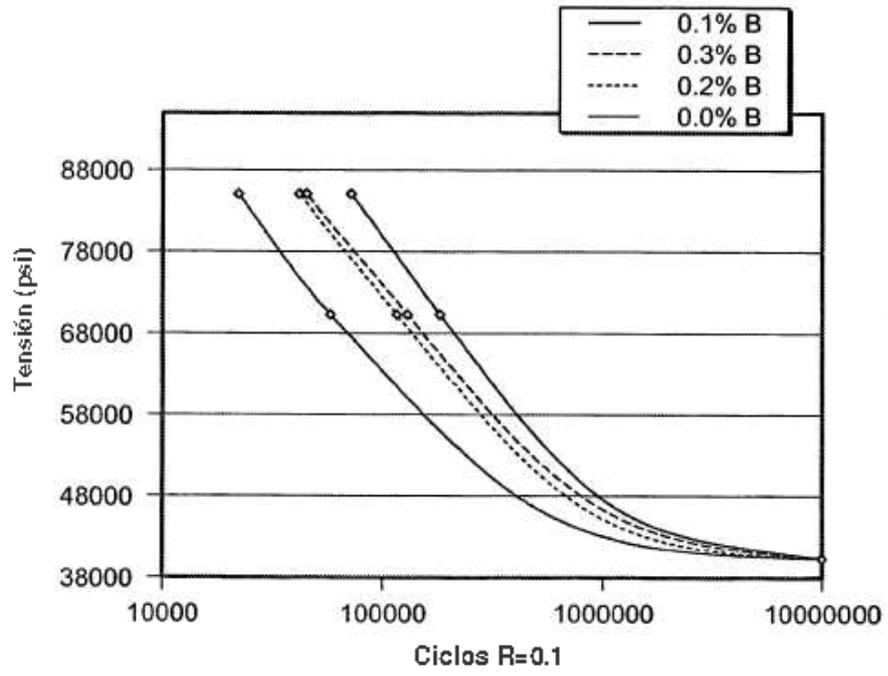


FIG. 8