

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 681 206**

51 Int. Cl.:

B22F 3/16 (2006.01)
B22F 3/11 (2006.01)
B22F 3/12 (2006.01)
B22F 3/15 (2006.01)
B22F 3/17 (2006.01)
C22C 33/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.01.2010 PCT/SE2010/050011**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.07.2010 WO10080063**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.01.2010 E 10729365 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.04.2018 EP 2376248**

54 Título: **Procedimiento para la fabricación de una pieza de metal**

30 Prioridad:

12.01.2009 SE 0950007
12.01.2009 US 144085 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
12.09.2018

73 Titular/es:

METEC POWDER METAL AB (100.0%)
Bofors Industriområde
691 80 Karlskoga, SE

72 Inventor/es:

ÅSLUND, CHRISTER

74 Agente/Representante:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 681 206 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la fabricación de una pieza de metal

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a un procedimiento para la fabricación de piezas de metal a partir de polvo de metal esférico aglomerado.

10 **Antecedentes**

Es un hecho bien conocido que la técnica de polvo de metal ofrece ventajas claras en la producción de productos de forma casi neta, es decir, productos que se dan directamente de polvo, un producto terminado con un mínimo de material y desperdicio de energía a un coste final menor que la producción convencional a través de forjado y/o piezas mecanizadas. En muchos casos, las propiedades del producto de metal en polvo son superiores.

La sinterización de polvo de acero a densidad total está recibiendo un interés creciente debido a la economía y al ahorro de energía en este proceso. Este proceso usualmente requiere altas temperaturas de sinterización, a menos que el polvo de acero se mezcle con un aditivo de bajo punto de fusión, que actúa como una cola para el polvo de mayor punto de fusión. Dos aditivos típicos de bajo punto de fusión son cobre y boro. Sin embargo, como estas adiciones tienen efectos perjudiciales en algunas de las propiedades para un producto de acero, por ejemplo, soldadura o corrosión, estos tipos de adiciones son prohibitivas cuando se deben producir piezas completamente densas a partir de polvo de acero que cumplan los requisitos de acero forjado.

Otra forma de producir productos completamente densos mediante sinterización es utilizar altas temperaturas para aumentar las velocidades de sinterización y alcanzar la densidad total.

En la patente EP 1 047 518, se muestra que un proceso de compactación a alta velocidad (proceso de HVC) junto con un polvo de metal esférico aglomerado ofrece ventajas claras. No se describe HVC seguido de prensado isostático en caliente.

El documento US 4.851.189 divulga un procedimiento para fabricar levas para árboles de levas mediante pulvimetalurgia, que incluye moldear en una preforma de leva una mezcla en polvo compuesta de polvo de hierro aleado con elementos formadores de carburo del quinto y sexto grupos secundarios de la tabla periódica, y polvo de grafito en una cantidad necesaria para la formación de carburo; sinterizar la preforma a una temperatura de como máximo 50 K por encima de una temperatura de solidus de la preforma; y compactar la preforma mediante compresión isostática en caliente a una temperatura inferior a la temperatura de solidus a al menos un 99 % de una densidad teórica. No se divulga ninguna combinación de compactación a alta velocidad seguida de compresión isostática en caliente.

En el moldeo por inyección de metal (MIM) se usa un polvo extremadamente fino, usualmente de alrededor de 20 micras, dando la posibilidad de sinterizar a densidad total, debido a la alta actividad superficial de los polvos finos y puros, que generalmente son atomizados como gas. Estos polvos finos son muy costosos de producir y, usualmente, difíciles o imposibles de usar para productos con un peso mayor, tal como, por ejemplo, 50-100 gramos.

Otra forma de producir productos totalmente densos a partir de polvo con propiedades iguales o mejores que los productos elaborados es utilizar prensado isostático en caliente (HIP) de una masa de polvo. La masa de polvo debe entonces encapsularse en una "cápsula", es decir, un recipiente que incruste la masa de polvo contra el medio de presión circundante, normalmente gas argón. El recipiente normalmente utilizado está hecho de una chapa de acero. Práctica y económicamente esto hace que la técnica se limite a piezas relativamente grandes, normalmente, por ejemplo, de 5 kg o más. También existen limitaciones con respecto a formas más complicadas debido al coste de fabricación de las cápsulas.

Esto significa que hay un área de producto importante que varía desde aproximadamente 50 gramos hasta aproximadamente 5 kg, lo que hoy por razones económicas y prácticas no puede abordarse eficazmente usando el estado actual de la técnica.

Una limitación al usar la compactación de polvo de metal es que incluso si es posible obtener densidades verdes muy altas, lo cual es favorable para alcanzar la densidad total, para ciertas aleaciones la sinterización a alta temperatura puede causar problemas debido a la formación de diferentes fases o precipitaciones, que no pueden eliminarse en procesos posteriores, tales como endurecimiento, templado o recocido blando, ya que no hay más ruptura de tales estructuras debido al producto de forma casi neta.

Un área donde hay margen de mejora es que a altas temperaturas, especialmente cuando se producen diferentes fases estructurales, puede producirse un crecimiento crítico del grano, es decir, se forman grandes

granos que deterioran aún más las propiedades mecánicas, especialmente las propiedades de impacto y elongación. Esto es especialmente cierto cuando el material antes de la sinterización ha sido sometido a una pequeña deformación en frío. En tal caso, el crecimiento crítico del grano es más fácil.

Los productos en polvo que no han alcanzado la densidad total no pueden ser prensados isostáticamente en caliente (prensado en caliente) sin un recipiente envolvente, ya que la interconexión de la porosidad en el producto en polvo hace que la operación HIP sea inútil. Sin embargo, si la densidad del producto prensado es lo suficientemente alta acercándose a la densidad teórica completa, el producto prensado se puede prensar en caliente sin una cápsula y alcanzar así la densidad total si se usan los parámetros correctos. Esto se hace generalmente a una temperatura más baja que mediante sinterización a alta temperatura, evitando así los problemas mencionados anteriormente con las precipitaciones y el crecimiento del grano. Como regla general, la densidad en crudo por encima del 95 % de la TD proporciona una porosidad cerrada y, por lo tanto, estos productos pueden ser prensados isostáticamente en caliente hasta la densidad total sin encapsulación.

Otro espacio de mejora se refiere al límite superior de densificación. Debido al efecto adiabático, descrito en la patente EP 1 047 518, es posible alcanzar densidades muy altas, muy superiores a la técnica de prensado convencional. Sin embargo, debido a la necesidad de eliminar el aglutinante, tal como un hidrocoloide, es necesario detener la densificación en un cierto límite superior para permitir que el aglutinante se evapore durante esta etapa.

Otros fenómenos también pueden producirse a densidades extremadamente altas con el aglutinante incorporado, tal como, por ejemplo, ampollas en la superficie.

En el estado de la técnica, los carburos se acumulan y se conservan cuando el cuerpo sinterizado se enfría después de sinterizar a alta temperatura. Estos tipos de estructuras son imposibles o muy difíciles de eliminar por tratamiento térmico posterior a temperaturas más bajas, debido al alto contenido de agentes formadores de carburo, tal como vanadio, tungsteno y cromo. En la producción convencional, estos tipos de estructuras se descomponen en laminado posterior, forjado, etc., cuando la estructura colada se procesa posteriormente al producto final de barras, láminas, etc. Los valores de impacto normalmente oscilan entre 50 y 150 julios, dependiendo de la dureza después del endurecimiento/templado. Sin embargo, cuando la intención es producir una forma neta o una forma casi neta sin ningún proceso de deformación posterior o con solo uno menor, esta posibilidad de descomponer la estructura del defecto no existe.

Sumario

Es un objeto de la presente invención obviar al menos algunas de las desventajas en la técnica anterior y proporcionar un procedimiento mejorado.

En un primer aspecto, se proporciona un procedimiento para la fabricación de una pieza de metal, comprendiendo el procedimiento las etapas: a) compactar polvo de metal esférico aglomerado a una preforma, b) desbarbar y sinterizar la preforma a una pieza a una temperatura que no exceda 1275 °C, c) realizar una de las siguientes etapas: i) compactar la pieza a una densidad de más del 95 % de la TD, o ii) compactar la pieza a una densidad de menos del 95 % de la TD y sinterizar la pieza a una temperatura no superior a 1275 °C a una densidad de más de 95 % de la TD, y d) someter la pieza a presión isostática en caliente a una temperatura que no exceda los 1200 °C.

En un segundo aspecto, se proporciona una pieza de metal fabricada según la invención.

Una ventaja de la invención es que proporciona un proceso industrial para producir piezas sinterizadas completamente densas a partir de aleaciones que no pueden producirse de acuerdo con el estado de la técnica y todavía proporcionan buenas propiedades de impacto.

Descripción de los dibujos

La invención se describe adicionalmente con la ayuda de los siguientes dibujos, en los que:

La figura 1 muestra un diagrama de fase calculado mediante Thermo Calc para acero 357.

La figura 2 muestra un diagrama de fase calculado mediante Thermo Calc para un acero de alta velocidad.

La figura 3a muestra un diagrama de fase calculado mediante Thermo Calc para un acero utilizado en los ejemplos 10-12.

La figura 3b muestra una ampliación parcial del diagrama de fases de la figura 3a.

En las figuras 1 a 3, las letras tienen el siguiente significado:

- a) Líquido
- b) bFCC + líquido
- c) FCC
- d) FCC + MC
- e) BCC + FCC
- f) Líquido + FCC + MC
- g) Líquido + FCC + BCC
- h) Líquido + BCC
- i) BCC
- j) FCC + MC + M7C3
- k) FCC + M7C3
- l) Líquido + FCC + M7C3
- m) BCC + FCC + cementita + M7C3
- n) FCC + cementita + M7C3
- o) FCC + cementita
- p) BCC + cementita
- q) FCC + BCC + M7C3
- r) BCC + M7C3
- s) BCC + FCC + M7C3
- t) BCC + FCC + cementita

En las figuras, el contenido de carbono se da en el eje x. Los valores normales para el contenido de carbono son aprox. 0,5 - 1,0 % en peso, pero a veces puede ser mayor para aceros de alta velocidad con una resistencia al desgaste muy alta. Una característica típica de todos estos tipos de aleaciones es que la temperatura de fusión disminuye al aumentar la temperatura, pero también que las áreas de fases mixtas con fase líquida aumentan con el contenido de carbono. Esto significa que la limitación superior para evitar la fase de fusión disminuye con el aumento del contenido de carbono. Aunque para aceros de alta velocidad con bajo contenido de carbono puede alcanzar hasta 1300 °C, el límite superior con mayor contenido de carbono es de aproximadamente 1250 °C.

Definiciones

Antes de que la invención se divulgue y describa en detalle, debe entenderse que esta invención no se limita a compuestos particulares, polvos, configuraciones, etapas de procedimiento, sustratos y materiales descritos en el presente documento, tal como compuestos, polvos, configuraciones, etapas de procedimiento, sustratos y materiales pueden variar un poco. También debe entenderse que la terminología empleada en este documento se usa con el fin de describir realizaciones particulares solamente y no pretende ser limitativa, ya que el alcance de la presente invención está limitado solo por las reivindicaciones adjuntas y equivalentes de las mismas.

Cabe señalar que, como se usa en esta memoria descriptiva y en las reivindicaciones anexas, las formas singulares "un", "una" y "el/la" incluyen referentes plurales a menos que el contexto dicte claramente lo contrario.

Si no se define nada más, se pretende que los términos y la terminología científica utilizados en este documento tengan los significados comúnmente entendidos por los expertos en la técnica a la que pertenece esta invención.

El término "aproximadamente" como se usa en conexión con un valor numérico en toda la descripción y en las reivindicaciones indica un intervalo de precisión, familiar y aceptable para una persona experta en la técnica. Dicho intervalo es de $\pm 10\%$.

5 El término "prensa isostática en frío" se usa a lo largo de la descripción y en las reivindicaciones para indicar un dispositivo en el que un componente normalmente está sometido a presión elevada en un fluido. La presión se aplica al componente desde todas las direcciones.

10 El término "densidad" se usa a lo largo de la descripción y las reivindicaciones para indicar la densidad promedio de un cuerpo. Se entiende que algunas partes del cuerpo pueden tener una densidad más alta que la media y que algunas partes del cuerpo pueden tener una densidad menor.

15 El término "acero de alta velocidad" se usa a lo largo de la descripción y las reivindicaciones para designar el acero destinado a ser utilizado en aplicaciones de herramientas de corte de alta velocidad. El término "acero de alta velocidad" abarca acero de alta velocidad de molibdeno y acero de alta velocidad de tungsteno.

20 El término "prensa isostática en caliente" se usa a lo largo de la descripción y en las reivindicaciones para designar un dispositivo en el que un componente está sometido tanto a temperatura elevada como a presión de gas isostática en un recipiente de contención a alta presión. La presión se aplica al componente desde todas las direcciones.

25 El término "sinterización" se usa a lo largo de la descripción y en las reivindicaciones para indicar un procedimiento que comprende calentar un polvo a una temperatura por debajo del punto de fusión del material hasta que las partículas se adhieren entre sí.

El término "recocido suave" se usa a lo largo de la descripción y en las reivindicaciones para indicar un recocido en el que la dureza después del recocido suave se reduce a un valor que permite que el material se someta adicionalmente a una deformación en frío.

30 El término "polvo de metal esférico" se usa a lo largo de la descripción y en las reivindicaciones para indicar polvo de metal que consiste en partículas de metal esféricas y/o partículas de metal elipsoidales.

35 El término "% de la TD" se usa a lo largo de la descripción y en las reivindicaciones para indicar el porcentaje de densidad teórica. La densidad teórica en este contexto es la densidad teórica máxima para el material del que está hecha la pieza.

40 El término "acero para herramientas" se usa a lo largo de la descripción y en las reivindicaciones para indicar cualquier acero utilizado para fabricar herramientas para cortar, formar o conforma de otra manera un material en una pieza o componente.

El término "prensado uniaxial" se usa en toda la descripción y en las reivindicaciones para indicar la compactación de polvo en una matriz rígida aplicando presión en una única dirección axial a través de un punzón o pistón rígido.

45 **Descripción detallada**

En un primer aspecto, se proporciona un procedimiento para la fabricación de una pieza de metal, comprendiendo el procedimiento las etapas:

50 a) compactar polvo de metal esférico aglomerado a una preforma,

b) desbarbar y sinterizar la preforma a una pieza a una temperatura que no exceda de 1275 °C,

55 c) realizar una de las siguientes etapas

i. compactar la pieza a una densidad de más del 95 % de la TD, o

ii. compactar la pieza a una densidad de menos del 95 % de la TD y sinterizar la pieza a una temperatura que no exceda de 1275 °C a una densidad de más del 95 % de la TD, y

60 d) someter la pieza a prensado isostático en caliente a una temperatura que no exceda los 1200 °C.

Se puede observar que la operación de prensado isostático en caliente en la etapa d) no debe exceder una cierta temperatura, dependiendo del material para evitar el crecimiento del grano.

65

El límite de temperatura de 1275 °C en las etapas b) y c) es para los contenidos de carbono hacia el extremo inferior del intervalo del 0,5 al 1,0 % en peso. Para una realización con un contenido de carbono en la mitad del intervalo del 0,5 al 1,0 % en peso o más, los límites en las etapas b) y c) son de 1250 °C.

5 En la prensa isostática en caliente, la pieza se somete a una presión durante un cierto tiempo de mantenimiento. Un ejemplo de tiempo de mantenimiento incluye, pero no está limitado a, 1-2 horas. Los productos más grandes se someten preferiblemente a tiempos de mantenimiento más largos, tales como, pero sin limitación, 3 horas. Un ejemplo de presión durante el prensado isostático en caliente incluye, pero no se limita a, 1500 bares.

10 En una realización, la compactación en la etapa c) se realiza con una compactación a alta velocidad. En una realización, la compactación en la etapa c) i) se realiza con una compactación a alta velocidad. En una realización, la compactación en la etapa c) ii) se realiza con una compactación a alta velocidad. En una realización, la compactación a alta velocidad se realiza con una velocidad de pistón que exceda 2 m/s. En otra realización, la compactación a alta velocidad se realiza con una velocidad de pistón que exceda 5 m/s. En aún otra realización, la compactación a alta velocidad se realiza con una velocidad de pistón que exceda 7 m/s. En una realización adicional, la compactación a alta velocidad se realiza con una velocidad de pistón que exceda 9 m/s. Una alta velocidad de pistón tiene la ventaja de proporcionar al material propiedades mejoradas. Sin desear estar sujeto a ninguna teoría científica particular, el inventor cree que el metal en los límites entre las partículas de metal se funde en cierta medida durante la compactación a alta velocidad, y que esto proporciona conexiones ventajosas entre las partículas de metal después de la compactación a alta velocidad. Por lo tanto, una realización en la que la etapa c) comprende la compactación a alta velocidad ofrece ventajas con respecto, por ejemplo, a un valor de impacto mejorado de la pieza. Este efecto requiere un polvo atomizado de gas de alta pureza (de forma esférica), ya que no existen altos contenidos de óxidos superficiales u otras impurezas que puedan obstaculizar este comportamiento en estos tipos de polvo.

25 Durante la compactación a alta velocidad, se proporciona energía al polvo a través del punzón de la matriz. La compactación obtenida depende de factores que incluyen, pero no se limitan a la velocidad del pistón de impacto, la cantidad de polvo a compactar, el peso del cuerpo de impacto, el número de impactos, la longitud del impacto y la geometría final del componente. Grandes cantidades de polvo usualmente requieren más impacto que pequeñas cantidades de polvo, también dependiendo de las propiedades mecánicas de dicho metal atomizado.

30 En una realización, la compactación en la etapa a) se realiza usando un procedimiento seleccionado del grupo que consiste en prensado uniaxial, prensado a alta velocidad y prensado isostático en frío.

35 En una realización, la compactación en la etapa a) se realiza con una presión no superior a 1000 N/mm². En una realización alternativa, la compactación en la etapa a) se realiza con una presión no superior a 600 N/mm². En una realización adicional, la compactación en la etapa a) se realiza con una presión no superior a 500 N/mm². En aún otra realización, la compactación en la etapa a) se realiza con una presión no superior a 400 N/mm². En todavía una realización adicional, la compactación en la etapa a) se realiza con una presión no superior a 300 N/mm². La presión de la compactación en la etapa a) debe adaptarse para que exista una porosidad abierta después de la compactación en la etapa a). Las presiones normales se encuentran entre 400 y 1000 N/mm² debido a la duración de la vida de la herramienta.

45 La densidad después de la etapa a) no debe ser demasiado alta, ya que durante el desbarbado se debe permitir que las sustancias se evaporen. Por lo tanto, debe haber una estructura abierta en el polvo de metal compactado después de la etapa a), que permite que el aglutinante se evapore durante el desbarbado. Si la densidad es demasiado alta, ya no existe una porosidad abierta y el aglutinante no puede evaporarse, lo que puede provocar efectos no deseados. En una realización, la densidad después de la etapa a) no es superior al 80 % de la TD. En otra realización, la densidad después de la etapa a) no es superior al 85 % de la TD. En aún otra realización, la densidad después de la etapa a) no es superior al 90 % de la TD.

50 Durante el desbarbado en la etapa b), el aglutinante se evapora. Después del desbarbado, la preforma en crudo se sinteriza. El desbarbado y la sinterización se realiza calentando la pieza. En una realización, el desbarbado con la sinterización posterior se realiza en una etapa.

55 Los tipos de acero que son más adecuados para el presente procedimiento son aceros con comportamiento de fase complicado. En una realización, el polvo de metal comprende al menos un acero seleccionado del grupo que consiste en acero para herramientas y acero de alta velocidad. En una realización, el polvo de metal consiste en acero para herramientas. En una realización, el polvo de metal consiste en acero de alta velocidad. En una realización alternativa, se usa otro tipo de acero. Las ventajas en relación con los aceros, tal como acero para herramientas y acero de alta velocidad, incluyen que se resuelven los problemas asociados con su comportamiento de fase.

En una realización, se realiza un recocido suave después de la etapa b). Las ventajas del recocido suave incluyen que la compactación en la etapa siguiente puede realizarse más fácilmente. En una realización alternativa, se consigue un recocido suave durante el enfriamiento del acero después de la primera sinterización.

- 5 En un segundo aspecto, se proporciona una pieza de metal fabricada según el procedimiento descrito anteriormente.

En una realización, la pieza de metal comprende al menos un acero seleccionado del grupo que consiste en acero para herramientas y acero de alta velocidad.

- 10 En una realización, la pieza de metal tiene una ductilidad medida como valor de impacto en una muestra sin muescas de 10 x 10 mm a temperatura ambiente de un mínimo de 25 julios, medida de acuerdo con la norma SS-EN 10045-1 Charpy V, U con muescas. En una realización alternativa, la pieza de metal tiene una ductilidad de un mínimo de 75 julios. En otra realización, la pieza de metal tiene una ductilidad de mínimo de 100 julios. En
15 aún otra realización, la pieza de metal tiene una ductilidad de mínimo de 130 julios. En aún otra realización, la pieza de metal tiene una ductilidad de mínimo de 130 julios. En todavía otra realización, la pieza de metal tiene una ductilidad de mínimo de 200 julios.

- 20 En una realización, la pieza de metal tiene un contenido de carbono mínimo del 0,5 % en peso. En una realización alternativa, la pieza de metal tiene un contenido máximo de carbono del 0,6 % en peso. En otra realización más, la pieza de metal tiene un contenido de carbono máximo del 0,65 % en peso. En una realización, la pieza de metal tiene un contenido de carbono máximo del 1,5 % en peso. En otra realización, la pieza de metal tiene un contenido de carbono máximo del 1,5 % en peso. En una realización preferida, el contenido de carbono está en el intervalo del 0,5 al 1,0 % en peso.

- 25 Debe entenderse que esta invención no está limitada a las realizaciones particulares mostradas en el presente documento. Los siguientes ejemplos se proporcionan con fines ilustrativos y no pretenden limitar el alcance de la invención, dado que el alcance de la presente invención está limitado solo por las reivindicaciones adjuntas y sus equivalentes.

30 **Ejemplos**

Fabricación de partículas aglomeradas

- 35 Partículas esféricas se obtuvieron por pulverización con un gas neutro de un baño de acero para herramientas con la composición de C 0,49 % en peso; Si 1,2 % en peso; Mn 0,34 % en peso; Cr 7,3 % en peso; Mo 1,4 % en peso; V 0,57 %. Se preparó un lote de estas partículas usando un tamiz, con un diámetro de partícula no mayor de 150 micras. Se preparó una solución acuosa con una base de agua desionizada, que contenía
40 aproximadamente un 30 % en peso de gelatina, cuya fuerza gelificante es de 50 blooms. La solución se calentó a entre 50 °C y 70 °C para disolver completamente la gelatina.

- Se preparó una mezcla del 95 % en peso de partículas de acero para herramientas de un diámetro no mayor de 150 micras y un 5 % en peso de la solución de gelatina acuosa, es decir, un 1,5 % en peso de gelatina. Para humedecer toda la superficie de las partículas, se realizó una mezcla completa.

- 45 A medida que la solución se enfriaba gradualmente, se formó un gel. Parte del agua se dejó evaporar mediante el soplado de aire, y la mezcla de consistencia pastosa se pasó a través de un tamiz con un tamaño de malla aproximado de 450 micras. Los gránulos se obtuvieron de esta manera. Los gránulos se secaron por aire, y luego se llevó a cabo una segunda etapa de tamizado para separar los gránulos entre sí y calibrarlos por
50 tamaño, haciéndolos pasar a través de un tamiz con un tamaño de malla de 400 micras.

- Los gránulos secos consistieron en partículas de metal esféricas aglomeradas que se unieron firmemente entre sí mediante películas de gelatina. Una pequeña fracción de gránulos consistió en partículas de metal esféricas aisladas recubiertas con gelatina.

55 **Ejemplo 1 (comparativo)**

- Se produjo una herramienta de acero con el siguiente análisis en polvo atomizado de gas; C 0,49 % en peso; Si 1,2 % en peso; Mn 0,34 % en peso; Cr 7,3 % en peso; Mo 1,4 % en peso; V 0,57 % en peso.

- 60 El polvo se fabricó y aglomeró de acuerdo con el proceso descrito anteriormente.

- Antes de la aglomeración, el polvo de acero para herramientas se recoció suavemente para proporcionar la mayor densidad posible en la etapa en crudo después del prensado. La dureza típica después del recocido
65 blando fue máxima de 250 HB.

El polvo se prensó en un cilindro de 150 mm de diámetro y de altura 22 mm con una presión de 600 N/mm². La densidad fue del 83,5 % de la TD, medida como peso respecto a la dimensión. La muestra prensada se sinterizó a 1300 °C en hidrógeno.

5 Después del proceso de sinterización, la densidad había aumentado al 87,7 % de la TD. Esta densidad es insuficiente para proporcionar las propiedades mecánicas deseadas. Especialmente las propiedades de impacto se deterioran debido a la baja densidad causada por la porosidad.

10 En etapas con 20 °C, la temperatura de sinterización se aumentó hasta 1420 °C. A 1380 °C y más, la densidad fue del 100 % en la TD después de la sinterización.

15 La muestra se endureció a 56 HRC, que es un valor normal cuando se usa en aplicaciones de desgaste combinado y fuerzas de impacto. Las propiedades de impacto fueron, en todos los casos, muy bajas, entre 3-12 julios en una muestra sin muescas de 10 x 10 mm medida a temperatura ambiente. Estos valores son demasiado bajos para muchas aplicaciones industriales.

20 Una investigación metalográfica mostró que si bien la porosidad era la causa de las propiedades de bajo impacto a temperaturas más bajas, las precipitaciones de los límites de grano causaban bajos valores de impacto a las temperaturas más altas, incluso cuando la densidad era del 100 % de la TD.

25 Las investigaciones con SEM (microscopio electrónico de barrido) mostraron que las precipitaciones consistían en carburos, principalmente M₂₃C₆ y tipos de MC (M = metal y C = carbono). Estas precipitaciones inician grietas y explican los bajos valores de ductilidad. Esta estructura se explica mediante un diagrama de fases (por ejemplo, el calculado mediante Thermo Calc, ver la figura 1), donde las fases de fusión existen cada vez más a una temperatura más alta. Dentro de estas regiones, los carburos se acumulan y se conservan cuando el cuerpo sinterizado se enfría después de la sinterización. Estos tipos de estructuras son imposibles o muy difíciles de eliminar mediante tratamiento térmico posterior a temperaturas más bajas, ya que la intención del presente procedimiento es producir una forma neta o casi de forma neta sin ningún proceso de deformación posterior o con solo uno menor.

30

Ejemplo 2

35 Se realizó otra prueba con el mismo material que en el ejemplo 1. Después de la misma operación de prensado y sinterización a 1250 °C, la densidad fue del 85 % en la TD. El material se recoció suavemente y a continuación se presionó uniaxialmente una vez más, ahora hasta una densidad en crudo final del 92,3 % de la TD. Después de esta operación, el producto prensado se sinterizó una vez más a 1250 °C a una densidad del 95,2 % de la TD. El producto sinterizado se insertó a continuación en una prensa isostática en caliente y se prensó sin encapsular a una densidad total a una temperatura del 1150 °C y una presión de 1500 bares.

40 La microestructura del producto mostró una estructura uniforme con carburos uniformemente dispersos. Después de un endurecimiento y revenido normales hasta una dureza de 56 HRC, los valores de impacto se midieron a 120-132 julios, es decir, un valor satisfactorio para muchas aplicaciones industriales.

Ejemplo 3

45 El mismo producto en crudo que en el ejemplo 2 con un 92,3 % de la TD se sometió directamente a prensado isostático en caliente a 1150 °C. La densidad del producto fue del 99,2 % de la TD. La microestructura reveló áreas con alta porosidad, mientras que otras áreas eran completamente densas. Los valores de impacto después del mismo endurecimiento y templado dieron valores entre 15 y 85 julios dependiendo de la porosidad dispersa del producto.

50

Ejemplo 4

55 Se realizó otra prueba con el mismo material que en el ejemplo 1. Después del mismo prensado y sinterización que en el ejemplo 2 a una densidad en crudo del 85 % de la TD, el producto se volvió a incrustar con compactación a alta velocidad (HVC) a una densidad en crudo del 95,8 % de la TD, más alta que antes debido al efecto de la compactación HVC adiabática. La velocidad del pistón era de 7,5 m/s. El producto se prensó entonces isostáticamente en caliente como anteriormente a 1150 °C, sin ningún tipo de sinterización final, hasta la densidad total. Los valores de impacto se midieron a 140-175 julios, es decir, valores incluso mejores que los anteriores.

60

Ejemplo 5 (comparativo)

65 Experimento con un acero con la composición de C 0,65 % en peso; Cr 4,0 % en peso; Mo, 2,0 % en peso; W 2,1 % en peso; V 1,5 % en peso; Si, 1,0 % en peso; Mn 0,3 % en peso. Como en el ejemplo 1 anterior, el experimento comenzó con una temperatura de sinterización de 1300 °C y con un aumento de 20 °C en la

temperatura de sinterización para cada etapa. Las operaciones de sinterización se detuvieron a 1380 °C debido a la gran fusión de las piezas, causando una fuerte distorsión del producto. El resultado de estas pruebas fue el mismo que las pruebas anteriores. La densidad en crudo después del prensado fue del 82 % de la TD. Densidades bajas a bajas temperaturas de sinterización y fuertes precipitaciones a plena densidad a temperaturas de sinterización más altas con valores de impacto muy bajos, entre 3-6 julios. En la figura 2 se muestra un diagrama de fase calculado para este acero con Thermo Calc.

Ejemplo 6 y 7

Se realizó una prueba con un acero de alta velocidad con composición de C 0,65 % en peso; Cr 4,0 %; Mo 2,0 %; W 2,1 %; V 1,5 %; Si 1,0 %; Mn 0,3 %. Las muestras prensadas se sinterizaron a 1200 y 1250 °C, respectivamente, lo que dio una densidad del 84,5 y 86 % de la TD, respectivamente. Los dos tipos de muestras fueron luego sometidas a recocido blando a 950 °C, como se especifica para estos tipos de aceros y luego presionado uniaxialmente con una presión de 600 N/mm² a una densidad del 90,7 y del 92,1 % de la TD, respectivamente. Las muestras se sinterizaron de nuevo a 1200 °C y 1250 °C respectivamente en el siguiente esquema.

Sinterizado previo a 1200 °C		Sinterizado previo a 1250 °C	
Sinterizar a: 1200 °C/A1	Sinterizar a: 1250 °C/A2	Sinterizar a: 1200 °C/B1	Sinterizar a: 1250 °C/B2
Las siguientes densidades se midieron en la muestra respectiva.			
A1: 93,2% TD.	A2: 95,7% TD.	B1: 95,1% TD.	B2: 97,1% TD.

Todas las muestras se prensaron isostáticamente en caliente a 1150 °C, dando una densidad total para A2, B1 y B2, mientras que A1 dio algo de porosidad dispersa. En todos los casos, los valores de impacto fueron mejores que los de una sola sinterización a alta temperatura como la anterior, con valores que oscilan entre 25 julios para A1 y 235 julios para B1. A1 mostró un valor bajo debido a la porosidad local.

Ejemplo 8

Se realizó otra prueba con el acero de alta velocidad de los ejemplos 6 y 7. Las muestras se prensaron y sinterizaron a una densidad del 84 % de la TD, y recocido suave y posteriormente HVC se volvió a incrustar con una velocidad de pistón de 9,7 m/s a una densidad en crudo del 95,6 % de la TD y luego se prensó isostáticamente directamente en caliente como antes a la densidad total. El valor de impacto después del endurecimiento y del revenido a 56 HRC fue de 225 julios. La microestructura reveló una estructura completamente densa con granos finos (ASTM 7-8). No se detectaron precipitaciones de límite de grano.

Ejemplo 9

El ejemplo 2 se repitió, pero con una temperatura de sinterización de 1275 °C en ambos casos. Después de la primera sinterización, la densidad fue del 86,2 % de la TD y después de la segunda sinterización, la densidad fue del 96,3 % de la TD. La estructura fue satisfactoria con ductilidad en el intervalo de 90 a 102 julios.

Ejemplo 10, 11 y 12

Un acero al carbono (100 Cr6) con una composición de Fe = bal, C = 0,93, Si = 0,28, Mn = 0,41, P = 0,007, S = 0,006, Cr = 1,52, Ni = 0,15, Cu = 0,07, se aglomeró como en el ejemplo 1. Las proporciones se calculan en peso. (Fe = bal significa que Fe se añade hasta el 100 % en peso). El diagrama de fase para esta aleación se muestra en la figura 3. El polvo se recoció suavemente antes de la aglomeración. El polvo aglomerado se prensó isostáticamente en frío a 5500 bares a una densidad del 85,2 % de la TD en cilindros con dimensiones de diámetro de 75 mm x altura de 30 mm. El producto se desbarbó y se sinterizó a 1200 °C con un tiempo de mantenimiento de 1,5 horas a una densidad del 87,3 % de la TD. El material fue luego recocido suavemente.

En el ejemplo 10, el producto se presiona uniaxialmente al 90,8 % de la TD a 850 N/mm². El producto se sinterizó a continuación a 1325 °C con un tiempo de mantenimiento de 1,5 horas a la densidad total. Los valores de impacto (10 x 10 mm, sin muescas) después del endurecimiento y del templado a 55 HRC fueron muy bajos, entre 4-7 julios.

En el ejemplo 11, el producto se prensó HVC a una densidad del 96,8 % de la TD y luego se prensó isostáticamente en caliente, HIP a 1150 °C y 1400 bares durante 2 horas de tiempo de mantenimiento. Los valores de impacto medidos como antes fueron de 142 a 156 julios.

En el ejemplo 12, el producto se prensó a HVC hasta una densidad del 93,2 % de la TD y luego se sinterizó a 1275 °C hasta una densidad de 96,5 % de la TD. El producto se prensó luego isostáticamente en caliente como en el ejemplo 11 a densidad total. Los valores de impacto fueron de 127-135 julios.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para la fabricación de una pieza de metal, comprendiendo el procedimiento las etapas:
- 5 a. compactar polvo de acero esférico aglomerado a una preforma,
- b. desbarbar y sinterizar la preforma a una pieza a una temperatura que no exceda de 1275 °C,
- 10 c. realizar una de las siguientes etapas
- i. compactar la pieza a una densidad de más del 95 % de la densidad teórica, o
- ii. compactar la pieza a una densidad de menos del 95 % de la densidad teórica y sinterizar la pieza a una temperatura que no exceda 1275 °C a una densidad de más del 95 % de la densidad teórica, y
- 15 d. someter la pieza a prensado isostático en caliente a una temperatura que no exceda los 1200 °C,
- en el que la compactación en la etapa c) se realiza con compactación a alta velocidad con una velocidad de pistón superior a 2 m/s.
- 20 2. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la compactación a alta velocidad se realiza con una velocidad de pistón superior a 5 m/s.
- 25 3. El procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-2,
- en el que la compactación en la etapa a) se realiza usando un procedimiento seleccionado del grupo que consiste en prensado uniaxial, prensado a alta velocidad y prensado isostático en frío.
- 30 4. El procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-3,
- en el que la compactación en la etapa a) se realiza con una presión que no supera 1000 N/mm².
- 35 5. El procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-4,
- en el que el polvo de metal comprende al menos un acero seleccionado del grupo que consiste en acero para herramientas y acero de alta velocidad.
- 40 6. El procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-5,
- en el que se realiza un recocido suave después de la etapa b) en la reivindicación 1.

Fig.1

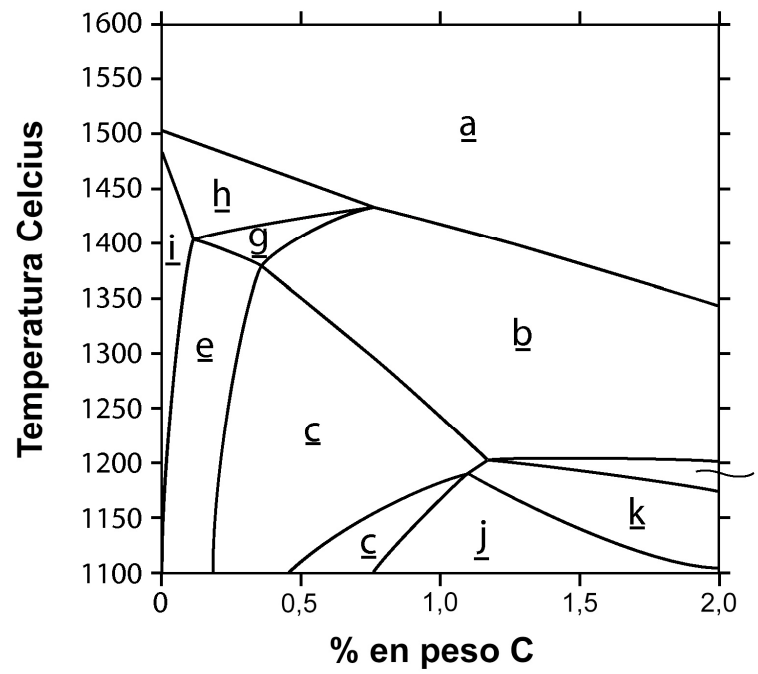
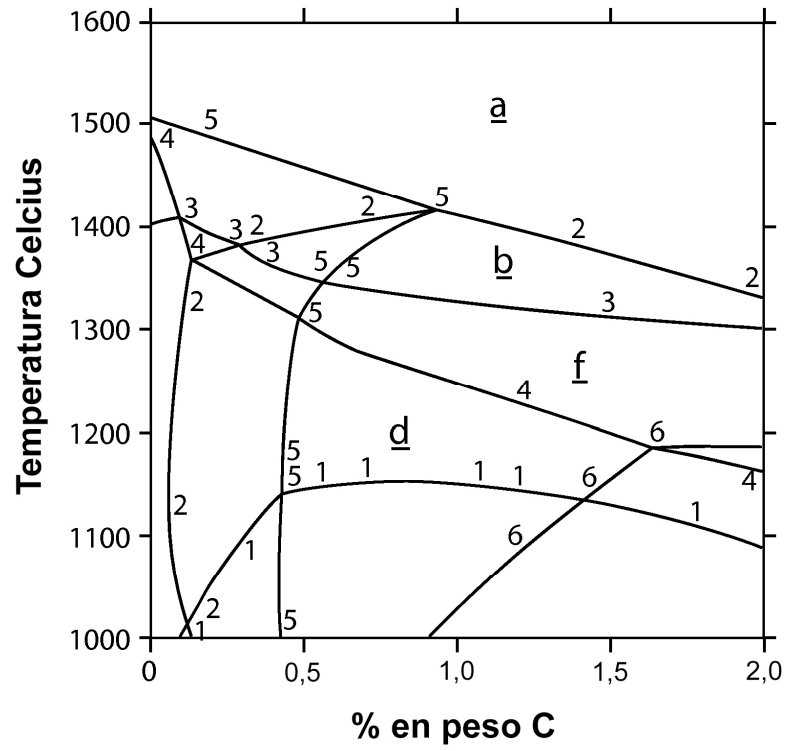


Fig.2



- 1= *M6C
- 2= *FCC_A1#1
- 3= *FCC_A1#2
- 4= *LIQUID
- 5= *BCC_A2
- 6= *M7C3

Fig.3a

Aleación 100 Cr6 1.3505

Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
Bal.	0,95	0,25	0,40	0,03	0,03	1,5	<0,3	<0,3

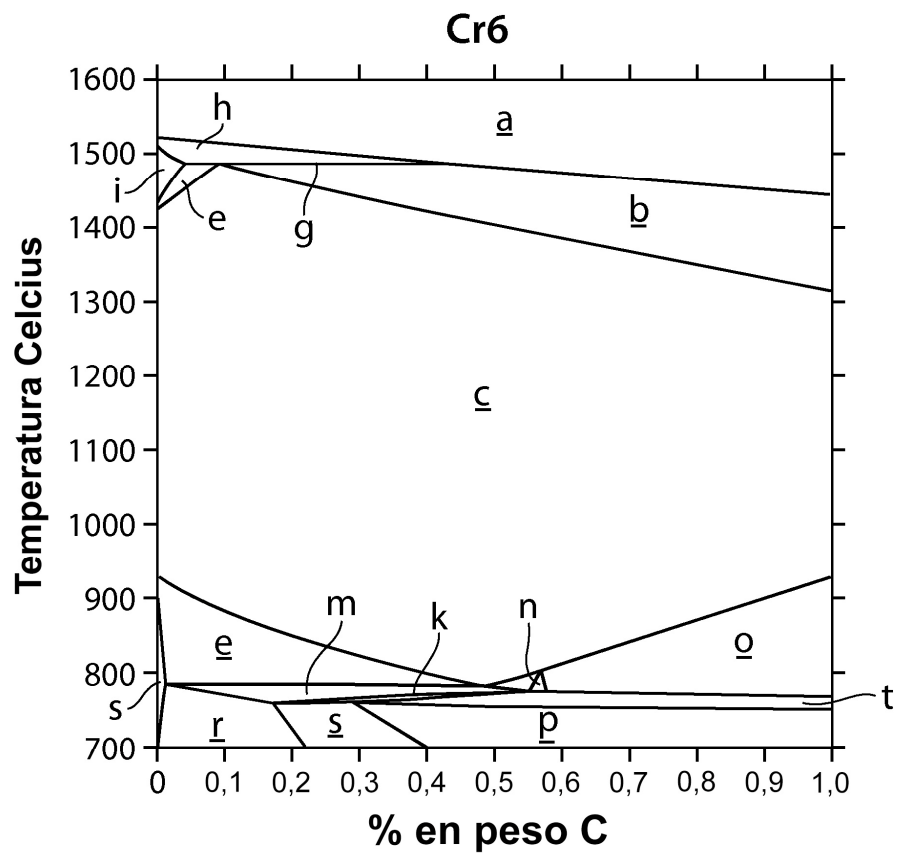


Fig.3b

