

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 625 695**

51 Int. Cl.:

**C22C 33/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.12.2011 PCT/EP2011/074230**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.07.2012 WO12089807**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.12.2011 E 11805541 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.04.2017 EP 2659014**

54 Título: **Polvos a base de hierro para moldeo por inyección de polvo**

30 Prioridad:

**30.12.2010 SE 1051396**  
**10.01.2011 US 201161431269 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**20.07.2017**

73 Titular/es:

**HÖGANÄS AB (PUBL) (100.0%)**  
**Bruksgatan 35**  
**26383 Höganäs, SE**

72 Inventor/es:

**LARSSON, ANNA**

74 Agente/Representante:

**DEL VALLE VALIENTE, Sonia**

**ES 2 625 695 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**

Polvos a base de hierro para moldeo por inyección de polvo

**5 Campo de la invención**

La presente invención se refiere a una composición de polvo a base de hierro para moldeo por inyección de polvo, al método de elaboración de componentes sinterizados a partir de la composición de polvo y a componentes sinterizados elaborados a partir de la composición de polvo. La composición de polvo se diseña para obtener piezas sinterizadas con densidades por encima del 93% de la densidad teórica, en combinación con propiedades mecánicas optimizadas.

**Antecedentes de la invención**

El moldeo por inyección de metal (MIM) es una técnica interesante para producir componentes sinterizados de alta densidad de formas complejas. En general, se usan polvos de hierro de carbonilo finos en este procedimiento. Otros tipos de polvos usados son los atomizados con gas y atomizados con agua de tamaño de partícula muy fino. Sin embargo, el coste de estos polvos finos es relativamente alto. Con el fin de mejorar la competitividad del procedimiento MIM es deseable reducir el coste del polvo usado. Una manera de conseguir esto es utilizando polvos más gruesos. Sin embargo, los polvos gruesos tienen una energía superficial más baja que los polvos finos y son por tanto mucho menos activos durante la sinterización. Otra cuestión es que los polvos más gruesos e irregulares tienen una densidad de empaquetamiento más baja y por tanto se limita el contenido en polvo máximo de la alimentación. Un contenido en polvo más bajo da como resultado una contracción más alta durante la sinterización y puede conducir entre otros a una alta dispersión dimensional entre los componentes producidos en un ciclo productivo.

La bibliografía sugiere reducir la cantidad de hierro de carbonilo añadiendo una determinada cantidad de polvo de hierro más grueso y optimizar la razón de mezclado, con el fin de no perder demasiada sinterabilidad y densidad de empaquetado. Otra manera de aumentar la sinterabilidad es añadiendo estabilizadores de fase de ferrita tales como Mo, W, Si, Cr y P. Se han mencionado en la bibliografía adiciones del 2-6% de Mo, del 2-4% de Si o hasta el 1% de P a mezclas de hierro atomizado y de carbonilo.

La patente estadounidense 5.993.507 da a conocer composiciones de polvos finos y gruesos combinados que contienen silicio y molibdeno. La composición comprende hasta aproximadamente el 50% de polvo grueso y el contenido en Mo + Si varía desde el 3-5%. La patente estadounidense 5.091.022 da a conocer un método de fabricación de un producto de metal en polvo de Fe-P sinterizado que tiene alta permeabilidad magnética y características magnéticas suaves excelentes, usando moldeo por inyección con hierro de carbonilo por debajo de 5 µm. La patente estadounidense 5.918.293 da a conocer un polvo a base de hierro para compactar y sinterizar que contiene Mo y P.

El documento WO91/19582 da a conocer un polvo a base de hierro que tiene una composición del 0,3-0,5% de Mo, y del 0,3-0,7% de P, pero no menciona el tamaño de partícula grueso tal como se define en la presente invención.

Normalmente la carga sólida (es decir la porción de polvo a base de hierro) de una alimentación de MIM a base de hierro (es decir el polvo a base de hierro mezclado con aglutinante orgánico listo para ser

La patente estadounidense 5.993.507 da a conocer composiciones de polvos finos y gruesos combinados que contienen silicio y molibdeno. La composición comprende hasta aproximadamente el 50% de polvo grueso y el contenido en Mo + Si varía desde el 3-5%. La patente estadounidense 5.091.022 da a conocer un método de fabricación de un producto de metal en polvo de Fe-P sinterizado que tiene alta permeabilidad magnética y características magnéticas suaves excelentes, usando moldeo por inyección con hierro de carbonilo por debajo de 5 µm. La patente estadounidense 5.918.293 da a conocer un polvo a base de hierro para compactar y sinterizar que contiene Mo y P.

Inesperadamente se ha encontrado que una alimentación que comprende composición de polvo atomizado a base de hierro grueso según la invención, con una cantidad total relativamente baja de estabilizadores de ferrita, puede usarse para moldeo por inyección de polvo con el fin de obtener componentes con una densidad sinterizada de al menos el 93% de la densidad teórica. Además, se ha observado que aparte de obtener componentes que tienen una densidad sinterizada por encima del 93%, puede obtenerse sorprendentemente una alta tenacidad, resistencia al impacto, si el polvo contiene una cantidad especificada de molibdeno y fósforo y tienen una determinada estructura metalográfica.

**Objetos de la invención**

Uno de los objetos de la invención es proporcionar una composición de polvo a base de hierro relativamente grueso

que tiene bajas cantidades de elementos de aleación, y que es adecuada para el moldeo por inyección de metal.

Otro objeto de la invención es proporcionar una composición de alimentación para moldeo por inyección de metal, comprendiendo ésta una composición de polvo a base de hierro relativamente grueso que tiene bajas cantidades de elementos de aleación, y que es adecuada para moldeo por inyección de metal.

Otro objeto de la invención es proporcionar un método para producir componentes sinterizados moldeados por inyección a partir de la composición de alimentación que tienen una densidad del 93% y por encima, de la densidad teórica.

Todavía otro objeto de la presente invención es proporcionar un componente sinterizado producido según el procedimiento MIM que tiene una densidad del 93% y por encima, de la densidad teórica y una resistencia al impacto por encima de 50 J/cm<sup>2</sup> y una resistencia a la tracción por encima de 350 MPa.

## Sumario de la invención

Al menos uno de estos objetos se logra mediante:

- Una composición de polvo a base de hierro para moldeo por inyección de metal que tiene un tamaño medio de partícula de 20-60 μm, preferiblemente de 20-50 μm, lo más preferiblemente de 25-45 μm, y que incluye un polvo que contiene fósforo, tal como Fe<sub>3</sub>P.
- Una composición de alimentación para moldeo por inyección de metal que comprende una composición de polvo a base de hierro atomizado con un tamaño medio de partícula de 20-60 μm, preferiblemente de 20-50 μm, lo más preferiblemente de 25-45 μm, y un aglutinante orgánico. Dicha composición de polvo a base de hierro incluye un polvo que contiene fósforo, tal como Fe<sub>3</sub>P
- Un método para producir un componente sinterizado que comprende las etapas de:
  - a) preparar una alimentación de moldeo por inyección de metal tal como se sugirió anteriormente,
  - b) moldear la alimentación para dar una preforma no sinterizada,
  - c) retirar el aglutinante orgánico
  - d) sinterizar la preforma obtenida en una atmósfera reductora a una temperatura de entre 1200-1400°C en la región de ferrita (BCC)
  - e) enfriar el componente sinterizado a través de un área de dos fases de austenita y ferrita para proporcionar la formación de granos de austenita (FCC) en los límites de grano de los granos de ferrita, y
  - f) opcionalmente someter el componente a tratamiento posterior a la sinterización tal como la cementación en caja, nitruración, carburación, nitrocarburación, carbonitruración, endurecimiento por inducción, laminado de superficie y/o endurecimiento por granallado.
- Preferiblemente cuando se pasa el área de dos fases la velocidad de enfriamiento debe ser de al menos 0,2°C/s, más preferiblemente de al menos 0,5°C/s hasta que se ha alcanzado una temperatura de aproximadamente 400°C, con el fin de suprimir el crecimiento de grano.
- Un componente sinterizado elaborado a partir de la composición de alimentación. El componente tiene una densidad de al menos el 93% de la densidad teórica, una resistencia al impacto por encima de 50 J/cm<sup>2</sup>, una resistencia a la tracción por encima de 350 MPa y una microestructura ferrítica que contiene granos que tienen un contenido en fósforo más alto que el contenido en fósforo nominal (contenido en P promedio del componente) que están incrustados en granos que tienen un contenido en fósforo más bajo que el contenido en fósforo nominal. Los granos que tienen un contenido en fósforo más bajo se forman a partir de granos de austenita transformados.

## Descripción detallada de la invención

### Composición de polvo a base de hierro

La composición de polvo a base de hierro incluye al menos un polvo a base de hierro y/o polvo de hierro puro. El polvo a base de hierro y/o polvo de hierro puro pueden producirse mediante la atomización con agua o gas de una masa fundida de hierro y opcionalmente elementos de aleación. El polvo atomizado puede someterse además a un

procedimiento de recocido por reducción, y opcionalmente alearse además usando un procedimiento de aleación por difusión. Alternativamente, puede producirse polvo de hierro por reducción de óxidos de hierro.

5 El tamaño de partícula de la composición de hierro o de polvo a base de hierro es tal que el tamaño medio de partícula es de 20-60  $\mu\text{m}$ , preferiblemente de 20-50  $\mu\text{m}$ , lo más preferiblemente de 25-45  $\mu\text{m}$ . Además se prefiere que  $D_{99}$  sea de como máximo 120  $\mu\text{m}$ , preferiblemente de como máximo 100  $\mu\text{m}$  ( $D_{99}$  significa que el 99% en peso del polvo tiene un tamaño de partícula menor de  $D_{99}$ ).

10 Puede añadirse molibdeno como elemento de aleación en forma de polvo de molibdeno, polvo de ferromolibdeno o como otro polvo de aleación de molibdeno, a la masa fundida antes de la atomización, formando así un polvo aleado previamente. También puede unirse por difusión molibdeno sobre la superficie del polvo de hierro mediante un procedimiento de unión por difusión térmica. Como ejemplo, puede mezclarse trióxido de molibdeno con un polvo de hierro y después de esto someterse a un procedimiento de reducción formando el polvo unido por difusión. El molibdeno, en forma de polvo de molibdeno, polvo de ferromolibdeno o como otro polvo de aleación de molibdeno, también puede mezclarse con polvo de hierro puro. También puede aplicarse una combinación de estos métodos. En el caso de que un polvo que contiene molibdeno se mezcle con el hierro o polvo a base de hierro, el tamaño de partícula del polvo que contiene molibdeno nunca será mayor que el del hierro o polvo a base de hierro.

20 La composición de polvo a base de hierro incluye además un polvo que contiene fósforo y opcionalmente polvos que contienen silicio y/o cobre y/u otros elementos estabilizantes de ferrita tales como cromo. En el caso del cromo, el contenido puede ser hasta el 5% en peso de la composición de polvo. El tamaño de partícula del polvo que contiene fósforo o polvos que contienen silicio y/o cobre y/u otros elementos estabilizantes de ferrita tales como cromo preferiblemente nunca debe ser mayor que el del hierro o el polvo a base de hierro.

25 El fósforo y el molibdeno estabilizan la estructura de ferrita, la estructura BBC (cúbica centrada en el cuerpo). La propia velocidad de difusión de átomos de hierro es aproximadamente 100 veces más alta en la estructura de ferrita en comparación con la velocidad en la estructura de austenita, la estructura FCC (cúbica centrada en las caras) y por tanto los tiempos de sinterización pueden reducirse drásticamente cuando se realiza la sinterización en la fase de ferrita.

30 Sin embargo, la sinterización prolongada a alta temperatura en la fase de ferrita producirá un crecimiento de grano excesivo influyendo así negativamente entre otros en la resistencia al impacto. Siempre que el contenido en fósforo y el contenido en molibdeno se mantengan dentro de determinados límites, se formarán granos FCC sobre los límites de grano de los granos BCC produciendo un refinamiento de la estructura de grano tras el enfriamiento.

35 La figura 1 muestra la ruta de enfriamiento principal para el componente elaborado a partir de la composición según la presente invención. La sinterización se realiza en el área BCC tal como se indica mediante T1, mientras que durante el enfriamiento el componente sinterizado debe pasar a través del área de dos fases, BCC/FCC, es decir entre las temperaturas T2 y T3. Cuando el componente ha pasado el área de dos fases se realiza el enfriamiento adicional a una velocidad de enfriamiento relativamente alta, suficientemente alta con el fin de evitar el engrosamiento de los granos. Preferiblemente la velocidad de enfriamiento debajo del área de dos fases (T2-T3) está por encima de 0,2°C/segundos, más preferiblemente por encima de 0,5°C/segundos hasta que se ha alcanzado una temperatura de aproximadamente 400°C. La estructura metalográfica resultante se muestra en la figura 2. A temperatura ambiente, un componente según la invención tendrá una estructura metalográfica que consistirá en dos tipos de granos de ferrita. En la figura 2 se muestra una red de granos más ligeros que se formaron durante el enfriamiento a través del área de dos fases. Estos granos eran austeníticos en el área de dos fases y por tanto tienen un contenido en fósforo más bajo que los granos a los que rodean que permanecieron ferríticos durante todo el procedimiento de enfriado. Los granos que se formaron cuando el material pasó a través del área de dos fases tendrán un contenido en fósforo más bajo y los granos que eran ferríticos a la temperatura de sinterización tendrán un contenido en fósforo más alto.

55 El molibdeno tiene el efecto de empujar el área de dos fases en la figura 1 a la izquierda y también disminuir el área de dos fases tanto en la dirección horizontal como en la vertical. Esto significa que el contenido en molibdeno aumentado será reducirá la temperatura de sinterización mínima con el fin de sinterizar en la región ferrítica y disminuir la cantidad de fósforo necesaria con el fin de enfriar a través del área de dos fases.

El contenido total de Mo en el polvo debe estar entre el 0,3 - 1,60% en peso, preferiblemente el 0,35 - 1,55% en peso, e incluso más preferiblemente el 0,40 - 1,50% en peso.

60 Un contenido por encima del 1,60% de molibdeno no contribuirá a una densidad aumentada en la sinterización sino sólo a aumentar el coste del polvo y también hará que el área de dos fases sea demasiado pequeña, es decir será difícil que se proporcione la microestructura deseada de granos ferríticos con alto contenido en fósforo rodeados por granos ferríticos con contenido en fósforo más bajo que se han transformado a partir de granos austeníticos formados en el área de dos fases. Un contenido de molibdeno por debajo del 0,3% aumentará el riesgo de crear estructuras metalográficas no deseadas, influyendo por tanto negativamente en propiedades mecánicas tales como

65

resistencia al impacto.

El fósforo se mezcla con la composición de polvo a base de hierro no sólo con el fin de estabilizar la fase de ferrita, sino también para inducir la denominada fase líquida y por tanto fomentar la sinterización. La adición se realiza preferiblemente en forma de polvo de  $Fe_3P$  fino, con un tamaño medio de partícula por debajo de 20  $\mu m$ . Sin embargo, el P debe estar siempre en la región del 0,1 - 0,6% en peso, preferiblemente del 0,1- 0,45% en peso, más preferiblemente del 0,1-0,40% en peso de la composición a base de hierro. También pueden usarse otras sustancias que contienen P tales como  $Fe_2P$ . Alternativamente, el hierro o el polvo a base de hierro puede recubrirse con un recubrimiento que contiene fósforo.

El contenido total de P depende del contenido en Mo en la composición de polvo tal como se describió anteriormente. Preferiblemente el contenido combinado de molibdeno y fósforo será según la siguiente fórmula:

% en peso de Mo + 8\*% en peso de P = 2-4,7, preferiblemente el 2,4-4,7% en peso

El silicio (Si) puede incluirse opcionalmente en la composición de polvo a base de hierro como un elemento aleado previamente o unido por difusión de un polvo a base de hierro en la composición de polvo a base de hierro, alternativamente como un polvo mezclado con la composición de polvo a base de hierro. Si se incluyen, los contenidos no deben ser de más del 0,6% en peso, preferiblemente por debajo del 0,4% en peso y más preferiblemente por debajo del 0,3% en peso. El silicio reduce el punto de fusión del acero fundido antes de la atomización, facilitando así el procedimiento de atomización. Un contenido de silicio por encima del 0,6% en peso influirá negativamente en la posibilidad de enfriar el componente sinterizado a través de la región de austenita/ferrita mixta.

Las impurezas inevitables se mantendrán tan bajas como sea posible, de tales elementos el carbono será de menos del 0,1% en peso ya que el carbono es un estabilizador de austenita muy fuerte.

El cobre, Cu, potenciará la resistencia y dureza a través del endurecimiento de la disolución sólida. El Cu también facilitará la formación de cuellos sinterizados durante la sinterización a medida que el cobre funde antes de que se alcance la temperatura de sinterización proporcionando la denominada sinterización en fase líquida. El polvo puede mezclarse opcionalmente con Cu, preferiblemente en forma de polvo de Cu en una cantidad del 0-3% en peso, y/u otros elementos estabilizantes de ferrita tales como cromo. En el caso del cromo, el contenido puede ser de hasta el 5% en peso del polvo.

Otras sustancias tales como materiales de fase dura y agentes de potenciación de la maquinabilidad, tales como MnS,  $MoS_2$ ,  $CaF_2$ , diferentes tipos de minerales, etc. pueden añadirse opcionalmente a la composición de polvo a base de hierro.

#### Composición de alimentación

La composición de alimentación se prepara mezclando la composición de polvo a base de hierro descrita anteriormente y un aglutinante.

El aglutinante en forma de al menos un aglutinante orgánico debe estar presente en la composición de alimentación en una concentración del 30-65% en volumen, preferiblemente del 35-60% en volumen, más preferiblemente del 40-55% en volumen. Cuando se usa el término aglutinante en la presente descripción se incluyen también otras sustancias orgánicas que están comúnmente en alimentaciones de MIM, tales como por ejemplo agentes de liberación, lubricantes, agentes humectantes, modificadores de la reología, agentes de dispersión. Ejemplos de aglutinantes orgánicos adecuados son ceras, poliolefinas, tales como polietilenos y polipropilenos, poliestirenos, poli(cloruro de vinilo), poli(carbonato de etileno), polietilenglicol, ácidos esteáricos y polioximetileno.

#### Sinterización

La composición de alimentación se moldea para dar una preforma. La preforma obtenida se trata entonces térmicamente, o se trata en un disolvente o por otros medios para retirar una parte del aglutinante tal como se conoce en la técnica, y luego se somete adicionalmente a sinterización en una atmósfera reductora a vacío o a presión reducida, a una temperatura de aproximadamente 1200-1400° C en el área de ferrita.

#### Enfriamiento tras sinterización

Durante el enfriamiento se hará pasar el componente sinterizado a través del área de dos fases, austenita (FCC) + ferrita (BCC). Por tanto, los granos de austenita se formarán sobre los límites de grano de los granos de ferrita y se obtiene refinamiento de grano. Tras pasar el área de dos fases, la velocidad de enfriamiento está preferiblemente por encima de 0,2°C/segundos, más preferiblemente por encima de 0,5°C/segundos, con el fin de evitar engrosamiento de los granos. Los granos de austenita formados previamente se transformarán en ferrita que tiene

un contenido en fósforo más bajo en comparación con los granos de ferrita no transformados ya que la austenita tiene una menor capacidad para disolver fósforo.

Tratamientos posteriores a la sinterización

El componente sinterizado puede someterse a un procedimiento de tratamiento térmico, para obtener la microestructura deseada, mediante tratamiento térmico y mediante velocidad de enfriamiento controlada. El procedimiento de endurecimiento puede incluir procedimientos conocidos tales como extinción y temple, cementación en caja, nitruración, carburación, nitrocarburación, carbonitruración, endurecimiento por inducción y similares. Alternativamente, puede utilizarse un procedimiento de endurecimiento por sinterización a alta velocidad de enfriamiento.

Pueden utilizarse otros tipos de tratamientos posteriores a la sinterización tales como laminado de superficie o endurecimiento por granallado que introducen tensiones residuales compresivas que potencian la resistencia a la fatiga.

Propiedades del componente terminado

Los componentes sinterizados según la invención alcanzan una densidad sinterizada de al menos el 93% de la densidad teórica, y una resistencia al impacto por encima de 50 J/cm<sup>2</sup>, resistencia a la tracción por encima de 350 MPa, y una microestructura ferrítica caracterizada porque contiene granos que tienen un contenido en fósforo más alto que el contenido en fósforo nominal y granos que tienen un contenido en fósforo más bajo que el contenido en fósforo nominal. Los granos que tienen contenido en fósforo más bajo se forman a partir de granos de austenita transformados.

**Ejemplo 1**

Se prepararon cinco composiciones de polvo a base de hierro con diferentes contenidos en fósforo y molibdeno. Las composiciones A, B, C y E se prepararon mezclando un polvo de hierro aleado previamente que tiene un contenido en molibdeno de aproximadamente el 1,4% en peso con un polvo de hierro puro que tiene contenido en hierro por encima del 99,5% y un polvo de Fe<sub>3</sub>P. El tamaño medio de partícula del polvo de hierro aleado previamente fue de 37 µm y el 99% de todas las partículas tenían un tamaño de partícula de menos de 80 µm. El tamaño medio de partícula del polvo de hierro puro fue de 34 µm y el 99% de todas las partículas tenían un tamaño de partícula de menos de 67 µm. El tamaño medio de partícula del polvo de Fe<sub>3</sub>P fue de 8 µm.

La composición D se preparó a partir del polvo a base de hierro aleado previamente y el polvo de Fe<sub>3</sub>P solo.

Con el fin de simular el comportamiento de densificación durante la sinterización en relación con el procedimiento MIM se compactaron las composiciones hasta una densidad de aproximadamente 4,5 g/cm<sup>3</sup> (el 58% de la densidad teórica) para dar muestras de tracción convencionales según la norma SS EN ISO 2740 y después de eso se sinterizaron a 1400°C en una atmósfera de N<sub>2</sub> al 90%/H<sub>2</sub> al 10% en volumen, durante 60 minutos.

La tabla 1 muestra los resultados de las pruebas.

Tabla 1

	Mo [% en peso]	P [% en peso]	C [% en peso]	% en peso de Mo +8*% en peso de P	Densidad [% de la densidad teórica]
A	0,48	0,06	<0,05	1,0	86,1
B	0,94	0,06	<0,05	1,4	90,6
C	0,94	0,11	<0,05	1,8	92,3
D	1,41	0,12	<0,05	2,4	93,5
E	0,93	0,31	<0,05	3,4	94,7

En la figura 3 se representa la relación entre la suma de % de Mo y 8\* % de P y la densidad sinterizada. A partir de la figura 3 resulta evidente que para obtener una densidad sinterizada de al menos el 93% la suma de % de Mo y 8\*% de P debe estar por encima de 2 y para obtener una densidad sinterizada por encima del 94% la suma de % de Mo y 8\*% de P debe estar por encima del 2,4 %.

**Ejemplo 2**

El ejemplo siguiente ilustra que las composiciones de polvo F, G y H según una realización de la invención producirán una densidad sinterizada de al menos el 93% de la densidad teórica. Se prepararon composiciones de polvo F-H y se sometieron a prueba según el ejemplo 1. En la composición H solo se usaron el polvo aleado previamente y el polvo de Fe<sub>3</sub>P. La preparación de muestras compactadas y la sinterización se realizó según el ejemplo 1.

Tabla 2

	Mo [% en peso]	P [% en peso]	C [% en peso]	Densidad [% de la densidad teórica]
F	0,47	0,50	<0,05	96,1
G	0,92	0,50	<0,05	96,4
H	1,39	0,49	<0,05	96,5

5 Añadir Mo a la aleación ayudará a la densificación y aumentará la densidad sinterizada. Sin embargo, si el contenido en Mo está por encima de aproximadamente el 1,5% a un contenido en fósforo de aproximadamente el 0,5% se observa que no aumenta la densidad.

**Ejemplo 3**

10 Para aumentar las propiedades mecánicas a menudo se usa carbono como elemento de aleación. Se sinterizó una composición de polvo I de la tabla 3 en una atmósfera reductora. La densidad sinterizada fue muy escasa en comparación con la correspondiente a la composición E libre de carbono de la tabla 1.

Tabla 3

	Mo [% en peso]	P [% en peso]	C [% en peso]	Densidad [% de la densidad teórica]
I	0,98	0,31	0,49	87,3

15 **Ejemplo 4**  
Se prepararon muestras de las composiciones de polvo C, E, G y H según ejemplo 1 y se sometieron a prueba con respecto a las propiedades mecánicas.

20 La siguiente tabla 4 muestra los resultados de las pruebas. La resistencia al impacto se sometió a prueba según la norma ISO 5754. También se realizó la prueba de tracción según la norma SS EN ISO 2740.

Tabla 4

	Mo [% en peso]	P [% en peso]	C [% en peso]	% en peso de Mo +8*% en peso de P	Dens [% de la densidad teórica]	IE [J/cm <sup>2</sup> ]	Resistencia a la tracción, Rm [MPa]
C	0,94	0,11	<0,05	1,8	92,3	>150	331
E	0,93	0,31	<0,05	3,4	94,7	108	395
G	0,92	0,50	<0,05	4,9	96,4	32	458
H	1,39	0,49	<0,05	5,3	96,5	22	480

25 Como puede observarse en la tabla 4 se obtiene una alta densificación a partir de la composición E, G y H, sin embargo las pruebas de los componentes de las composiciones G y H muestran valores bajos de resistencia al impacto. En la prueba de tracción de muestra C, se obtuvo una resistencia a la tracción menor de 350 MPa. La figura 4 muestra la ruta de enfriamiento principal para las diferentes muestras según el ejemplo 4.

**Ejemplo 5**

35 Se sinterizó una composición de polvo X según la tabla 5 en una atmósfera reductora. La densidad sinterizada fue similar a la composición E de la tabla 4. Sin embargo, la resistencia a la tracción aumentó.

Tabla 5

	Mo [% en peso]	P [% en peso]	C [% en peso]	Cr [% en peso]	% en peso de Mo +8*% en peso de P	Densidad [% de la densidad teórica]	Resistencia a la tracción, Rm [MPa]
X	0,49	0,35	<0,05	2,6	3,3	94,6	446

**Ejemplo 6.**

40 Se preparó una alimentación que contenía la composición de polvo J preparando una composición de polvo según el ejemplo 1 y mezclando la composición de polvo con un aglutinante orgánico. El aglutinante orgánico constaba del 47,5% de polietileno, el 47,5% de cera de parafina y el 5% de ácido esteárico. Todos los porcentajes en porcentaje en peso. Se mezclaron el aglutinante orgánico y las composiciones de polvo en la razón de 49:51 en volumen.

## ES 2 625 695 T3

Se moldeó por inyección la alimentación para dar barras de tracción MIM convencionales según la norma ISO- SS EN ISO 2740 y muestras de prueba de impacto según la norma ISO 5754. Se desligaron las muestras en hexano durante 4 horas a 60°C para retirar la cera de parafina, seguido por sinterización a 1400°C en una atmósfera para nitrógeno al 90%, hidrógeno al 10% durante 60 minutos. Se realizaron las pruebas según el ejemplo 4. La siguiente tabla 6 muestra el resultado de la prueba de tracción. Para las mediciones de dispersión dimensional se usaron 5 muestras de prueba de tracción.

5

Tabla 6

	Mo [% en peso]	P [% en peso]	C [% en peso]	% en peso de Mo+8*% en peso de P	Dens [% de la densidad teórica]	IE [J/c m <sup>2</sup> ]	Resistencia a la tracción, Rm [MPa]	Dispersión dimensional [%]
J	1,01	0,29	<0,05	3,33	95,1	67	397	0,10

- 10 Como puede observarse en la tabla 6, la densidad sinterizada y las propiedades mecánicas fueron muy similares a los resultados obtenidos cuando las muestras de prueba se prepararon según el ejemplo 4, es decir muestras preparadas a partir de compactación a 150 MPa. La dispersión dimensional se evaluó como la desviación estándar de la longitud de las barras de tracción sinterizadas. A pesar de usar polvo de metal relativamente grueso y el bajo contenido de sólidos en la alimentación, la dispersión dimensional muestra un valor obtenido normalmente para los
- 15 componentes producidos según el procedimiento MIM.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Composición de polvo a base de hierro para moldeo por inyección de metal que tiene un tamaño medio de partícula de 20-60  $\mu\text{m}$ , y que tiene el 99% de las partículas de menos de 120  $\mu\text{m}$ , en la que la composición de polvo a base de hierro comprende en porcentaje en peso de la composición de polvo a base de hierro;
- 10 Mo: 0,3-1,6  
P: 0,1 - 0,6,  
opcionalmente máx. 3,0 de Cu,  
opcionalmente máx. 0,6 de Si,  
opcionalmente máx. 5 de Cr,  
máx. 1,0 de impurezas inevitables, de las que carbono es de menos de 0,1,  
siendo el resto hierro, y  
15 en la que la suma del contenido en Mo y 8\*P está dentro del intervalo de 2-4,7.
- 20 2. Composición de polvo a base de hierro según la reivindicación 1, en la que la composición a base de hierro incluye un polvo de hierro que se alea previamente con Mo en tales cantidades que la composición de polvo incluye el 0,3-1,6% de Mo en peso.
- 25 3. Composición de polvo a base de hierro según una cualquiera de las reivindicaciones 1-2, en la que el P está presente en forma de polvo de  $\text{Fe}_3\text{P}$ .
4. Composición de polvo a base de hierro según una cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en la que el contenido en Mo es del 0,35-1,55%, preferiblemente del 0,40-1,50% en peso de la composición de polvo a base de hierro.
- 30 5. Composición de polvo a base de hierro según cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en la que el contenido de P es del 0,1-0,45%, preferiblemente del 0,1-0,40% en peso de la composición de polvo a base de hierro.
6. Composición de alimentación para moldeo por inyección de metal que comprende:  
la composición de polvo a base de hierro según una cualquiera de las reivindicaciones 1-5 y un aglutinante.
- 35 7. Alimentación de moldeo por inyección de metal según la reivindicación 6, en la que el aglutinante es al menos un aglutinante orgánico en una concentración del 30-65% en volumen de la composición de alimentación.
- 40 8. Método para producir un componente sinterizado que comprende las etapas de:  
a) preparar una alimentación de moldeo por inyección de metal según la reivindicación 6 ó 7,  
b) moldear la alimentación para dar una preforma no sinterizada,  
c) retirar el aglutinante orgánico  
d) sinterizar la preforma obtenida en una atmósfera reductora a una temperatura de entre 1200-  
45 1400°C  
e) enfriar el componente sinterizado a través de un área de dos fases de austenita y ferrita para proporcionar la formación de granos de austenita (FCC) en los límites de grano de los granos de ferrita, y  
f) opcionalmente someter el componente a tratamiento posterior a la sinterización tal como la cementación en caja, nitruración, carburación, nitrocarburación, carbonitruración, endurecimiento  
50 por inducción, laminado de superficie y/o endurecimiento por granallado.

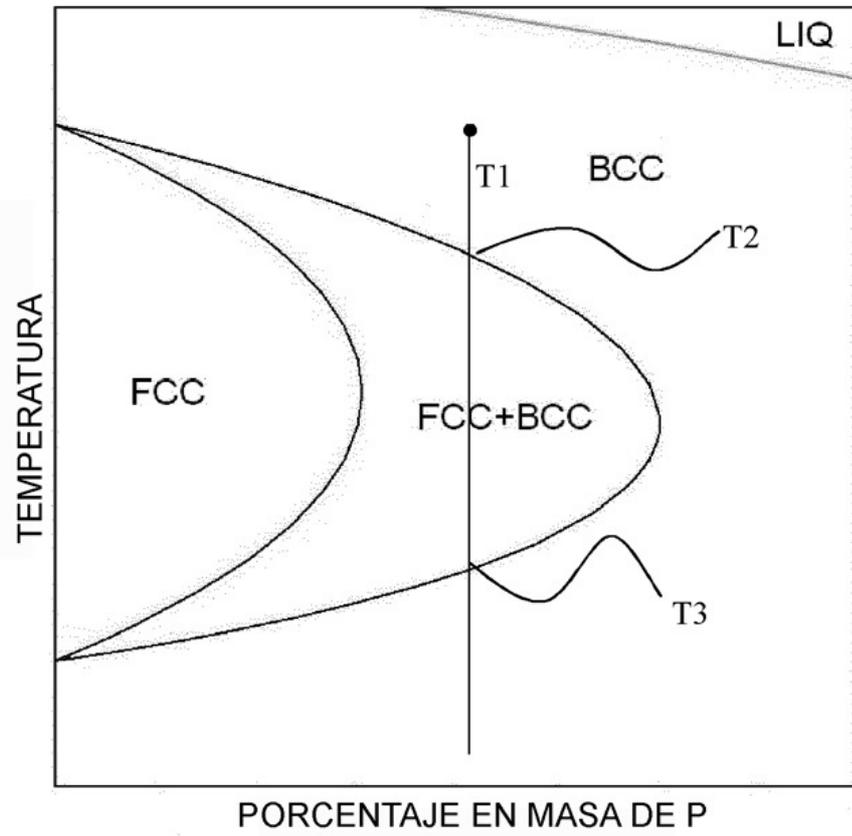


Figura 1

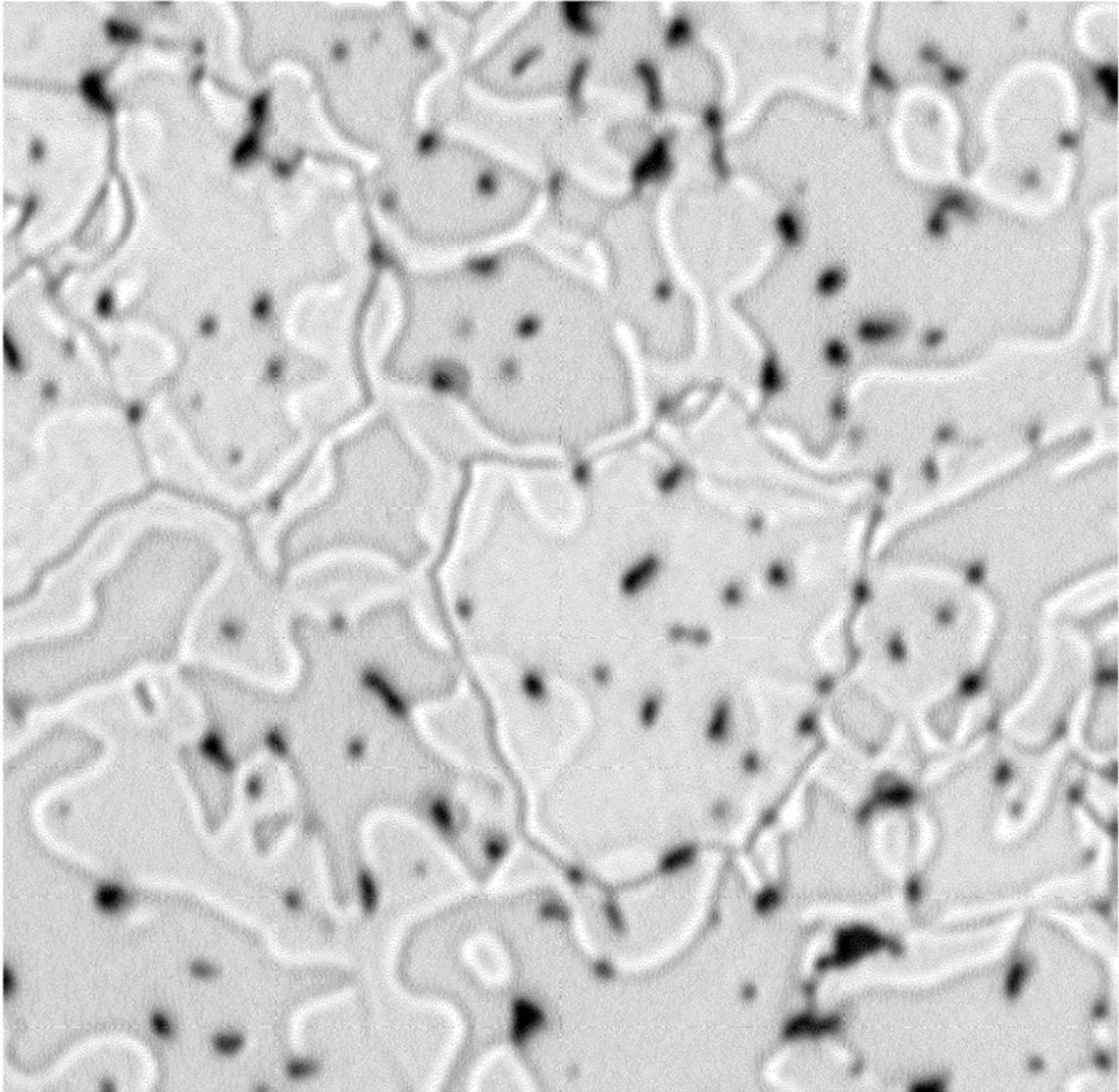


Figura 2



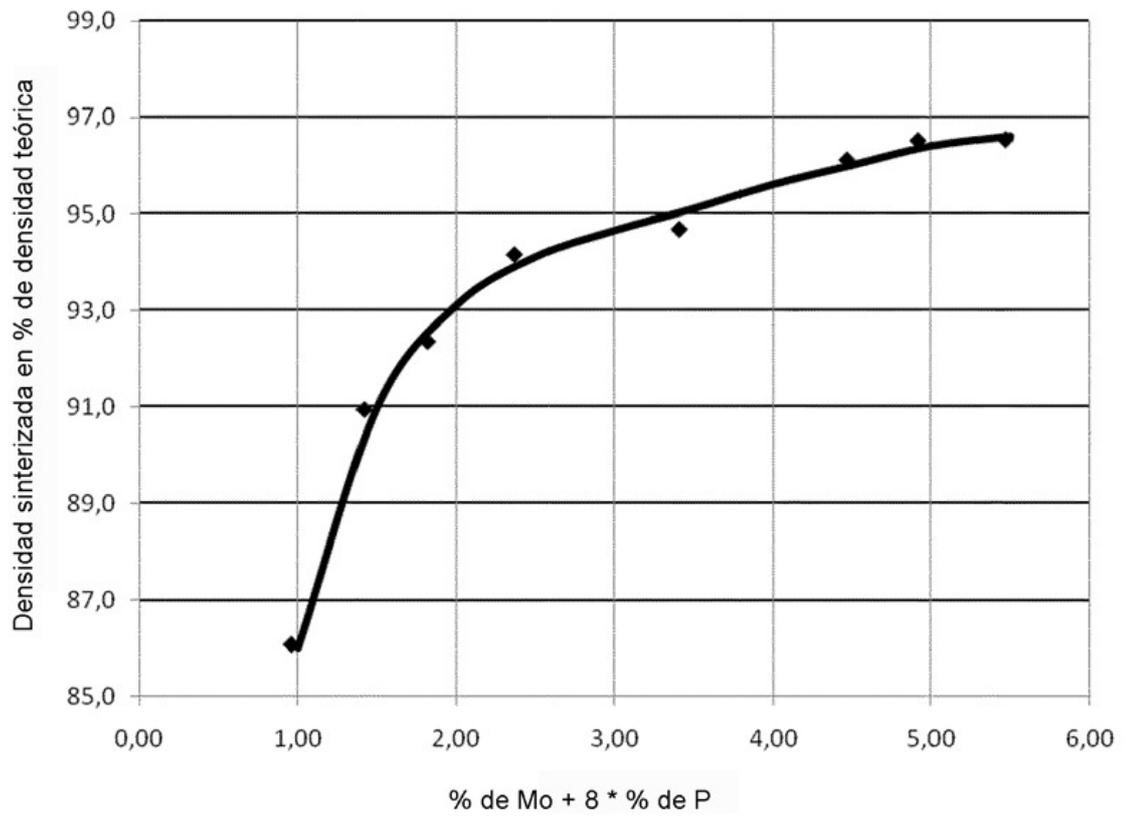


Figura 3

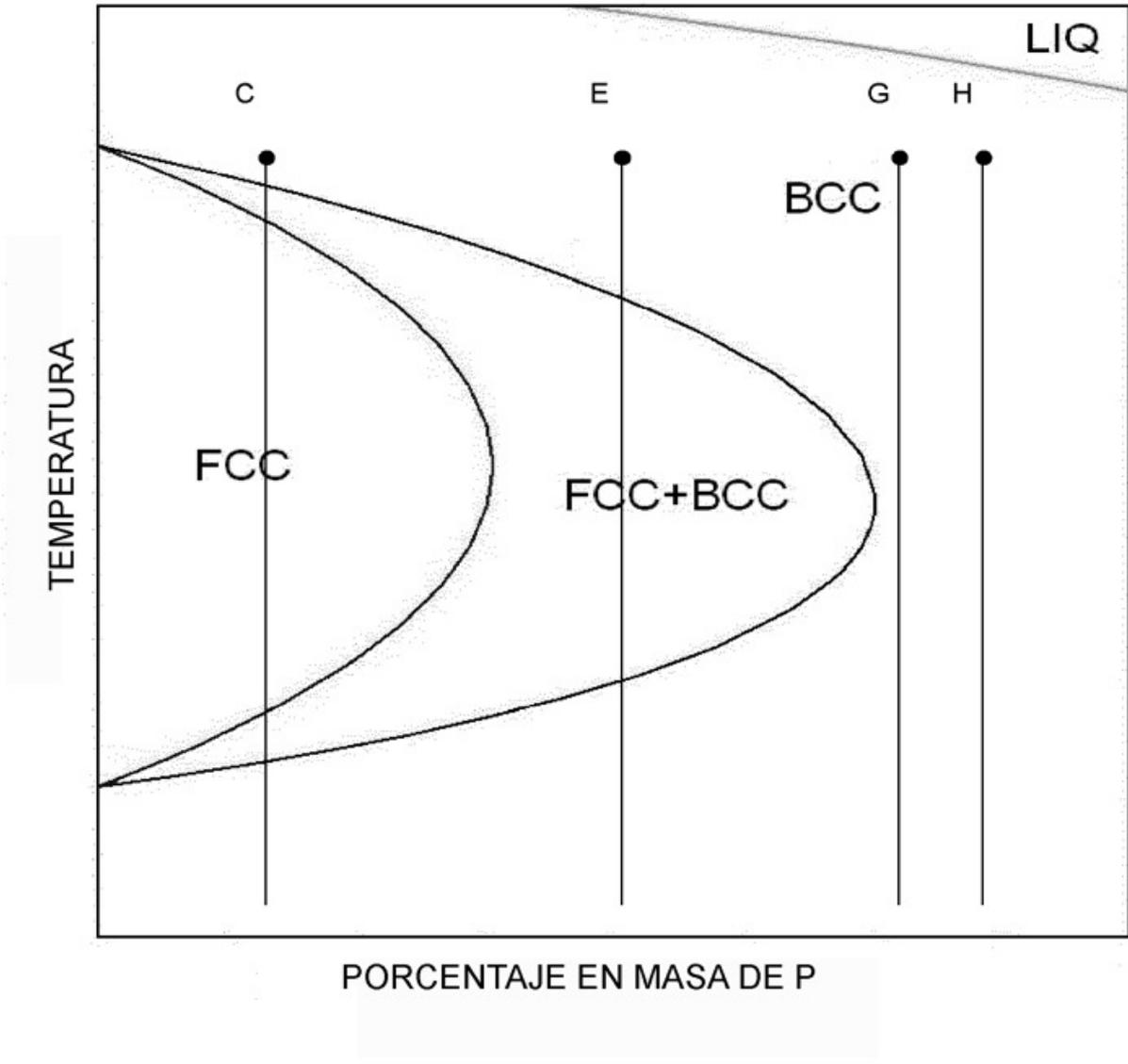


Figura 4