



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 322 768**

(51) Int. Cl.:

**B22F 3/12** (2006.01)

**B22F 3/10** (2006.01)

**B22F 3/02** (2006.01)

**C22C 33/02** (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(96) Número de solicitud europea: **05749127 .6**

(96) Fecha de presentación : **12.05.2005**

(97) Número de publicación de la solicitud: **1755810**

(97) Fecha de publicación de la solicitud: **28.02.2007**

(54) Título: **Ruedas dentadas a base de hierro producidas por un proceso que comprende compresión uniaxial, sinterización y densificación de la superficie.**

(30) Prioridad: **12.05.2004 US 570100 P**  
**21.04.2005 US 110945**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**26.06.2009**

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**26.06.2009**

(73) Titular/es: **HÖGANÄS AB.**  
**Bruksgatan 35**  
**263 83 Höganäs, SE**

(72) Inventor/es: **Skoglund, Paul;**  
**Kejzelman, Mikhail y**  
**Dizdar, Senad**

(74) Agente: **Justo Vázquez, Jorge Miguel de**

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

Ruedas dentadas a base de hierro producidas por un proceso que comprende compresión uniaxial, sinterización y densificación de la superficie.

**Campo de la invención**

La invención se refiere a las piezas de metal en polvo. Específicamente la invención se refiere a las piezas de metal sinterizado, que tienen una superficie densificada y que son adecuadas para aplicaciones exigentes. La invención también incluye un método de preparación de estas piezas de metal.

**Antecedentes de la invención**

Existen varias ventajas al usar los métodos metalúrgicos de polvo para la producción de piezas estructurales en comparación con los procesos convencionales de adecuación de acero completamente denso. Por lo tanto, el consumo de energía es mucho menor y la utilización de materiales es mucho mayor. Otro factor importante a favor de la vía metalúrgica del polvo es que los componentes en forma de red o próximos a la forma de red pueden ser producidos directamente después del proceso de sinterización, sin un conformado costoso tal como torneado, fresado, taladrado o rectificado. Sin embargo, normalmente, un material de acero completamente denso tiene propiedades mecánicas superiores en comparación con los componentes de la metalurgia de polvo (PM). Por lo tanto, el objetivo ha sido aumentar la densidad de los componentes de PM a fin de alcanzar valores lo más cercano posible al valor de la densidad del acero completamente denso. A densidades relativamente altas de sinterización la ocurrencia de porosidad en un cuerpo metalúrgico de polvo tiene principalmente una influencia negativa sobre las propiedades mecánicas dinámicas, las propiedades de fatiga. Los aditivos y las vías de procesamiento que dan tamaños de poros pequeños y poros redondos en el cuerpo sinterizado pueden disminuir los efectos negativos de la porosidad.

Un área de crecimiento futuro en la utilización de piezas de metal en polvo se encuentra en la industria del automóvil. De especial interés dentro de este campo es el uso de piezas de metal en polvo en aplicaciones más exigentes, tal como las aplicaciones de transmisión de potencia, por ejemplo, ruedas dentadas. Actualmente los materiales más comúnmente utilizados para la producción de ruedas dentadas para aplicaciones automotrices exigentes se basan en acero forjado del tipo 16MnCr5, 15CrNi6, o SAE 8620.

Los problemas con las ruedas dentadas formadas por los proceso de metal en polvo son que las ruedas dentadas de metal en polvo tienen una resistencia a la fatiga por flexión reducida en la región de la raíz del diente de la rueda dentada, y baja resistencia a la fatiga por contacto sobre el flanco del diente en comparación con las ruedas maquinadas a partir de piezas en barras o forjadas.

Estos problemas pueden ser reducidos por la deformación plástica de la superficie de la raíz del diente y la región del flanco a través de un proceso comúnmente conocido como densificación de la superficie. Los productos que pueden ser usados para estas aplicaciones exigentes son descritos, por ejemplo, en las Patentes U.S. Nos. 5,711,187, 5,540,883, 5,552,109, 5,729,822, 6,171,546 y la Publicación de la Solicitud de Patente US 2004/0177719.

La Patente U.S. No. 5,711,187 (1990) está particularmente relacionada con el grado de dureza superficial, que es necesario para producir ruedas dentadas, que sean lo suficientemente resistentes al desgaste para su uso en aplicaciones de servicio pesado. Según esta patente la dureza de la superficie o densificación debe estar en el rango de 90 a 100 por ciento del valor máximo de la densidad teórica a una profundidad de al menos 380 micras y hasta 1.000 micras. No se revelan los detalles específicos en relación con el proceso de producción, pero se afirma que los polvos mezclados son preferidos, ya que tienen la ventaja de ser más compresibles, lo que permite que se alcancen mayores densidades en la etapa de compactación. Además se afirma que los polvos mezclados deben incluir, además de hierro y 0.2% en peso de grafito, 0.5% en peso de molibdeno, cromo y manganeso, respectivamente.

Un método similar al descrito en la Patente U.S. N° 5,711,187 se divulga en la Patente U.S. N° 5,540,883 (1994). De acuerdo con la Patente U.S. N° 5,540,883, las superficies de soporte de patrones de metal en polvo son producidas al mezclar carbón y ferro aleaciones y lubricantes con polvo de hierro elemental compresible, prensar la mezcla para formar el patrón de metal en polvo, sinterizar a alta temperatura el patrón en una atmósfera reducida, comprimir el patrón de metal a fin de producir una capa densificada que tenga una superficie de soporte, y luego tratar térmicamente la capa densificada. El artículo de metal en polvo sinterizado debe tener una composición, en por ciento en peso, de 0.5 a 2.0% de cromo, 0 y 1.0% de molibdeno, 0.1 y 0.6% de carbono, con un balance de hierro y trazas de impurezas. Se mencionan amplios rangos en lo que respecta a las presiones de compactación. Por lo tanto, se afirma que la compactación se puede realizar a presiones entre 25 y 50 toneladas por pulgada cuadrada (alrededor de 390-770 MPa).

La Patente U.S. N° 5,552,109 (1995) se refiere a un proceso de formación de un artículo sinterizado de alta densidad. La patente está particularmente relacionada con la producción de barras de conexión. Al igual que en la Patente U.S. N° 5,711,187, en la Patente U.S. N° 5,552,109 no se describe ningún detalle concreto en relación con el proceso de producción, pero se afirma que el polvo debería ser un polvo pre-aleado a base de hierro, que la compactación se debe realizar en un solo paso, que las presiones de compactación pueden variar entre 25 y 50 toneladas por pulgada cuadrada (390-770 MPa) para densidades verdes entre 6.8 y 7.1 g/cm<sup>3</sup> y que la sinterización se debe realizar a altas

temperaturas, particularmente entre 1270 y 1350°C. Se afirma que los productos sinterizados con una densidad superior a 7.4 g/cm<sup>3</sup> son obtenidos, y por lo tanto es evidente que una alta densidad del sinterizado es un resultado de la alta temperatura de sinterización.

En la Patente U.S. Nº 5,729,822 (1996), una rueda dentada de metal en polvo con una densidad del núcleo de al menos 7.3 g/cm<sup>3</sup> y una superficie endurecida carburizada es divulgada. Los polvos recomendados son los mismos que en las Patentes U.S. Nos. 5,711,187 y 5,540,883, que discuten las mezclas obtenidas por mezcla de carbón, ferro aleaciones y lubricantes con polvo compresible de hierro elemental. Con el fin de obtener una alta densidad del núcleo sinterizado la patente menciona el prensado en caliente; doble prensado, doble sinterización; alta densidad de conformación como es divulgado en la Patente U.S. Nº 5,754,937; el uso de lubricación de la pared del molde, en lugar de lubricantes mezclados durante la compactación del polvo; y conformación rotatoria después de la sinterización. Típicamente son empleadas presiones de compactación de alrededor de 40 toneladas por pulgada cuadrada (620 MPa).

También la Patente U.S. Nº 6,171,546 divulga un método para la obtención de una superficie densificada. Según esta patente la densificación de la superficie es obtenida por laminado o endurecimiento por granallado de un cuerpo verde de un polvo a base de hierro. A partir de esta patente se puede concluir que los resultados más interesantes se obtienen si un paso de pre-sinterización se realiza antes de las operaciones de densificación y sinterización finales. De acuerdo con esta patente la sinterización se puede realizar a 1120°C, es decir, a temperaturas de sinterización convencionales, pero como son recomendados dos pasos de sinterización el consumo de energía sería considerable.

La Publicación de la Solicitud de Patente U.S. 2004/0177719 describe un método de formación de materiales y piezas de metal en polvo, como engranajes y ruedas dentadas, teniendo regiones de superficie que son uniformemente densificadas para una densidad total a profundidades que oscilan desde 0.001 pulgadas a 0.040 pulgadas, y las regiones del núcleo que pueden tener al menos 92 por ciento de densidad teórica y además pueden tener esencialmente la densidad total, es decir, 98% y superiores.

La densificación de la superficie de los aceros PM sinterizados se discute, por ejemplo, en el documento Technical Paper Series 8202 234, (International Congress & Exposition, Detroit, Michigan, Febrero 22-26, 1982). En este documento se revela un estudio del laminado de la superficie de engranajes sinterizados. Materiales aleados de Fe-Cu-C y Ni-Mo se utilizaron para el estudio. El documento revela los resultados de la investigación básica sobre el laminado de la superficie de piezas sinterizadas y la aplicación de la misma a los engranajes sinterizados. Los estudios básicos incluyen el laminado de la superficie con diferentes diámetros de los rodillos, los mejores resultados en términos de fortaleza se lograron con el diámetro de rodillo más pequeño, menor reducción por paso y gran reducción total. Como ejemplo de un material de Fe-Cu-C una densificación de 90% de la densidad teórica fue alcanzada con un rodillo de 30 mm de diámetro a una profundidad de 1.1 mm. El mismo nivel de densificación se alcanzó a una profundidad de alrededor de 0.65 mm para un rodillo de 7.5 mm de diámetro. El rodillo de diámetro más pequeño sin embargo fue capaz de aumentar la densificación a alrededor de la densidad total en la superficie mientras que el rodillo de gran diámetro aumentó la densidad en alrededor de 96% en la superficie. La técnica de laminado superficial fue aplicada a los engranajes de la bomba de aceite sinterizados y a los engranajes del cigüeñal. En un artículo en Modern Developments in Power Metallurgy, Volumen 16, p. 33-48 1984 (a partir de la Internacional PM Conference, Junio 17-22, 1984 Toronto, Canadá), los autores han investigado la influencia del endurecimiento por granallado, carbo-nitruración y combinaciones de los mismos en el límite de resistencia de las aleaciones Fe + 1.5% Cu y Fe + 2% Cu + 2.5% Ni sinterizadas. Las densidades reportadas de estas aleaciones fueron 7.1 y 7.4 g/cm<sup>3</sup>. Tanto una evaluación teórica del proceso de laminado superficial y un ensayo de fatiga por flexión de las piezas laminadas superficiales es publicado en un artículo en Horizont of Powder Metallurgy, parte I, p. 403-406, Procedimientos de 1986 (Internacional Powder Metallurgy Conference and Exhibition Dusseldorf, 7-11 de julio de 1986).

WO2004/037467 revela un polvo de Fe pre-aleado grueso, aleado con 1.5 Mo para la fabricación de piezas estructurales de alto rendimiento como, por ejemplo, engranajes. La compactación se realiza uniaxialmente y preferiblemente en un solo paso. La sinterización puede realizarse a temperaturas más bajas, como 1100-1140°C, o a temperaturas más altas, como 1200-1300°C. El componente verde o sinterizado puede ser sometido a otros tratamientos, tales como mecanizado en verde, cementado en caja, densificación de la superficie, tratamiento de vapor. En un ejemplo, los anillos con un diámetro interior de 35 mm, un diámetro exterior de 14 mm y una altura de 10 mm fueron uniaxialmente compactados en un solo paso a diferentes presiones de compactación. Densidades verdes 7.67 g/cm<sup>3</sup> fueron obtenidas a una presión de 1100 MPa.

De acuerdo al estado de la técnica anterior muchas vías diferentes se han propuesto con el fin de alcanzar una alta densidad de sinterizado de un componente metalúrgico en polvo. Sin embargo, todos los procesos sugeridos incluyen pasos que añaden costes adicionales, tales como la compactación en caliente, doble prensado - doble sinterización, lubricación de las paredes del molde, alta temperatura de sinterización etc. Además, para aplicaciones de alta carga tales como ruedas dentadas, las propiedades mecánicas dinámicas tales como la resistencia a la fatiga por flexión y resistencia a la fatiga por contacto, son necesarias para alcanzar el mismo nivel que las ruedas dentadas producidas a partir de acero completamente denso. Un método sencillo y rentable para la preparación de ruedas dentadas y productos similares que tienen propiedades mecánicas dinámicas igual a las ruedas dentadas forjadas, pudiera por lo tanto ser atractivo.

## Sumario

En resumen se ha encontrado ahora que las piezas de metal en polvo en aplicaciones más exigentes, tales como aplicaciones de transmisión de potencia, por ejemplo, ruedas dentadas, que tienen las mismas propiedades mecánicas dinámicas que las ruedas dentadas similares producidas de acero forjado, piezas en barras maquinadas o piezas forjadas, pueden ser obtenidas sometiendo un polvo a base de hierro o hierro grueso a la compactación uniaxial a una presión superior a 700 MPa a una densidad por encima de 7.35 g/cm<sup>3</sup>, sinterizando el producto verde obtenido y sometiendo el producto sinterizado a un proceso de densificación de la superficie seguido por tratamiento térmico, tal como el cementado en caja, seguido de un paso de endurecimiento por granallado.

Específicamente la invención se refiere a una pieza metálica sinterizada que tiene una superficie densificada y una densidad del núcleo de al menos 7.35 g/cm<sup>3</sup>, obtenida por un prensado único, sin la aplicación de lubricación de las paredes del molde, al menos a 7.35 g/cm<sup>3</sup> y una sola sinterización seguido por el tratamiento térmico de una mezcla de polvo a base de hierro que tiene partículas de polvo a base de hierro o hierro grueso, así como el método de producción de esas piezas de metal.

Los niveles de densidad anteriores se refieren a los productos a base de polvo de hierro puro o de baja aleación.

## Breve descripción de los dibujos

La Fig. 1 es una micrografía óptica de luz de una sección transversal de una rueda dentada con superficie densificada de acuerdo con la invención.

## Descripción detallada

### *Tipos de polvo*

Los polvos de metal adecuados que pueden ser usados como materiales de partida para el proceso de compactación son los polvos preparados a partir de metales como el hierro. Elementos de aleación tales como el carbono, cromo, manganeso, molibdeno, cobre, níquel, fósforo, azufre, etc. se pueden añadir como partículas, tales como partículas pre-aleadas o aleadas por difusión, a fin de modificar las propiedades del producto final de sinterización. Los polvos a base de hierro se pueden seleccionar del grupo que incluye polvos de hierro sustancialmente puros, partículas de hierro a base de hierro pre-aleado por difusión y/o mezclas de partículas de hierro o partículas a base de hierro y elementos de aleación. En cuanto a la forma de las partículas, es preferible que las partículas tengan una forma irregular como se obtiene por atomización del agua. Además, los polvos de hierro de esponja que tengan partículas de forma irregular pueden ser de interés.

En lo que respecta a las piezas PM para aplicaciones de alta exigencia, resultados especialmente prometedores se han obtenido con polvos atomizados en agua pre-aleados que incluyen cantidades bajas de uno o más de los elementos de aleación, como Mo, Cr y Mn. Ejemplos de este tipo de polvos son los polvos con una composición química correspondiente a la composición química de Astaloy Mo (1.5% Mo y Astaloy 85 Mo (0.85% Mo)), así como Astaloy CrM y Astaloy CrL (1.5 Cr, 0.2 Mo, y 0.11% Mn) de Höganäs AB, Suecia.

Realizaciones ejemplares incluyen el uso de polvos con partículas gruesas (es decir, polvo esencialmente sin partículas finas). El término "esencialmente sin partículas finas" significa que menos del 10% de las partículas de polvo tienen un tamaño inferior a 45 µm, según lo medido por el método descrito en SS-EN 24 497. En una realización ejemplar, un diámetro promedio de partículas puede ser entre 75 y 300 µm. Además, en una realización ejemplar, la cantidad de partículas por encima de 212 µm, puede estar por encima de 20% con un tamaño de partículas máximo que puede ser de alrededor de 2 mm.

El tamaño de las partículas a base de hierro normalmente usadas en la industria de PM se distribuye conforme a una curva de distribución Gaussiana con un diámetro promedio de partículas en la región de 30 a 100 µm y alrededor de 10-30% inferior a 45 µm. Por lo tanto, los polvos usados según las realizaciones ejemplares tienen una distribución de tamaño de partícula que se desvía de aquella normalmente usada. Estos polvos se pueden obtener mediante la eliminación de las fracciones finas del polvo o por la fabricación de un polvo que tiene la distribución de tamaño de partícula deseado.

En consecuencia, para los polvos mencionados anteriormente en las realizaciones ejemplares, por ejemplo, una distribución de tamaño de partícula para un polvo que tiene una composición química correspondiente a Astaloy 85 Mo puede incluir a lo máximo 5% de las partículas con un diámetro inferior a 45 µm y un diámetro promedio de partículas entre 106 y 300 µm. Adicionalmente, realizaciones ejemplares para los valores correspondientes para un polvo que tiene una composición química correspondiente a Astaloy CrL, por ejemplo, puede incluir menos de 5% de partículas con un diámetro inferior a 45 µm y un diámetro promedio de partícula de entre 106 y 212 µm.

Con el fin de obtener los compactos que tengan propiedades mecánicas satisfactorias sinterizadas de la pieza sinterizada de acuerdo con la realización ejemplar, el grafito puede ser adicionado a la mezcla de polvos a ser compactada.

## ES 2 322 768 T3

Así, el grafito en cantidades entre alrededor de 0.1 a alrededor de 1.0, entre alrededor de 0.2 a alrededor de 1.0 y/o entre alrededor de 0.2 a alrededor de 0.8% por peso de la mezcla total a ser compactada pueden ser adicionadas antes de la compactación para ajustar las propiedades sinterizadas mecánicas de una pieza sinterizada.

- 5 El polvo a base de hierro también puede ser combinado con un lubricante antes de que sea transferido al molde (lubricación interna). Un lubricante puede ser adicionado a fin de reducir la fricción entre las partículas de metal en polvo y/o entre las partículas de metal en polvo y un molde durante un paso de compactación, o uno de prensado. Los ejemplos de lubricantes adecuados son, por ejemplo, estearatos, ceras, ácidos grasos y sus derivados, oligómeros, polímeros y/o otras sustancias orgánicas con efecto lubricante. Los lubricantes pueden ser adicionados en forma de partículas, pero también pueden estar unidos y/o recubriendo las partículas metálicas. Una sustancia lubricante preferida es divulgada en la solicitud de patente WO 2004/037467 A1. De acuerdo a una realización ejemplar, el lubricante puede ser adicionado al polvo a base de hierro en cantidades entre 0.05 y 0.6%, y/o entre 0.1 y 0.5% por peso de la mezcla.
- 10
- 15 Como aditivos opcionales, fases duras, agentes aglutinantes, agentes mejoradores de la maquinabilidad y agentes mejoradores de flujo pueden ser adicionados.

### *Compactación*

- 20 La compactación convencional a altas presiones, es decir, presiones por encima de alrededor de 600 MPa con polvos convencionalmente usados que incluyen partículas finas, en mezcla con cantidades bajas de lubricantes (menos de 0.6% en peso) son generalmente considerados inadecuados debido a las dificultades para extraer las piezas después de la compactación, sin dañar las superficies de las piezas. Al utilizar los polvos de acuerdo con las realizaciones ejemplares, ha sido inesperadamente encontrado que la fuerza de eyección puede ser reducida a altas presiones y que componentes teniendo superficies aceptables o incluso perfectas también se pueden obtener cuando la lubricación de las paredes del molde no es usada.
- 25

- La compactación se puede realizar con el equipo estándar, lo que significa que el nuevo método se puede realizar sin inversiones costosas. La compactación se realiza uniaxialmente en un solo paso a temperatura ambiente o elevada. En las realizaciones ejemplares, las presiones de compactación superiores a 700, por encima de 800 y/o por encima de 900 o incluso 1000 MPa pueden ser usadas, donde la compactación debe ser realizada preferiblemente a densidades por encima de 7.45 g/cm<sup>3</sup>.
- 30

### *Sinterizado*

- Cualquier horno de sinterización convencional puede ser usado y los tiempos de sinterización pueden variar entre alrededor de 15 y 60 minutos. La atmósfera del horno de sinterización puede ser una atmósfera endogas, una mezcla entre el hidrógeno y el nitrógeno, nitrógeno puro o al vacío. Las temperaturas de sinterización pueden variar entre 1100°C y 1350°C. Preferiblemente, la temperatura de sinterización está entre 1200°C y 1350°C.
- 35
- 40

- En comparación con los métodos que implican un doble prensado y doble sinterización, los métodos de acuerdo a las realizaciones ejemplares tienen la ventaja de que un paso de prensado y un paso de sinterización puede ser eliminado.
- 45

### *Estructura*

- 50 Una característica distintiva del núcleo de la pieza de metal sinterizada y verde de alta densidad es la presencia de poros grandes. Normalmente, los grandes poros se consideran como un inconveniente y se toman diversas medidas con el fin de hacer que los poros sean más pequeños y redondos. Ahora ha sido sorprendente encontrado que las piezas de metal en polvo sinterizado, tales como las ruedas dentadas, cadenas de transmisión u otros componentes de metal dentados que tengan propiedades mecánicas dinámicas iguales a las propiedades de los componentes dentados obtenidos a partir de acero forjado pueden ser producidas. Ya que una alta densidad del sinterizado puede ser alcanzada en un proceso de un solo prensado, una sola sinterización usando un polvo de metal con una distribución de tamaño de grano grueso, pueden evitarse los costosos procesos, como el doble prensado - doble sinterización, compactación en caliente, sinterización a alta temperatura etc., para alcanzar una alta densidad del sinterizado. Por lo tanto, utilizando el método de acuerdo con las realizaciones ejemplares, por ejemplo, la producción de ruedas dentadas sometidas a cargas elevadas, que tienen excelentes propiedades mecánicas se puede facilitar en gran medida.
- 55
- 60

### *Densificación de la superficie*

- 65 El paso de densificación de la superficie puede ser realizado por laminado, endurecimiento por granallado, endurecimiento por láser, emparejado, extrusión, etc. Los métodos ejemplares son laminado radial o endurecimiento por granallado combinado con bruñido. Las piezas de metal en polvo obtendrán mejores propiedades mecánicas con una profundidad de densificación mayor.

## ES 2 322 768 T3

### Tratamiento térmico

Después del proceso de densificación de la superficie la pieza dentada es preferiblemente sometida a un proceso de tratamiento térmico, como los utilizados comúnmente en la producción comercial de las ruedas dentadas, los ejemplos de procesos de tratamiento térmico son cementado en caja, nitruración, carbo-nitruración, endurecimiento por inducción, nitro-carburación o endurecimiento total.

El aumento de la dureza superficial alcanzado por el proceso de tratamiento térmico puede ser reforzado además por revestimiento de la superficie del componente dentado con una capa de resistencia al desgaste y/o lubricante.

### Ejemplos

#### Ejemplo 1

Para el ensayo de resistencia a la fatiga por flexión de los dientes del engranaje, ruedas dentadas con 18 dientes, un módulo de 1.5875 mm o un paso diametral 16 (DP 16), un ancho de la cara del diente de 10 mm y un diámetro de perforación de 15 mm fueron producidas por compactación uniaxial de una composición metalúrgica de polvo a base de hierro a una presión de compactación de 950 MPa. Las ruedas dentadas fueron sometidas a sinterización a una temperatura de 1280°C durante 30 minutos en una atmósfera de 90% de nitrógeno, 10% de hidrógeno seguido por diferentes procesamientos de acuerdo con la tabla 3. La densidad del sinterizado fue 7.55 g/cm<sup>3</sup>. El material base de la composición metalúrgica de polvo a base de hierro se mezcló con 0.2% de una sustancia lubricante de acuerdo a WO 2004/037467 A1 y grafito antes de la compactación.

Como material de base un polvo, Fe1.5Cr0.2Mo, con una composición química correspondiente a Astaloy CrL, un polvo a base de hierro pre-aleado Mo-, Cr- atomizado con un contenido de Cr de 1.35-1.65%, un contenido de Mo de 0.17-0.27%, un contenido de carbono de más de 0.010% y un contenido de oxígeno de 0.25% a lo sumo, y con una distribución de tamaño de partícula grueso de acuerdo a la tabla 1 fue usado.

TABLA 1

| Tamaño de partícula $\mu\text{m}$ | % por peso |
|-----------------------------------|------------|
| >500                              | 0          |
| 425-500                           | 0.2        |
| 300-425                           | 7.4        |
| 212-300                           | 21.9       |
| 150-212                           | 225.1      |
| 106-150                           | 23.4       |
| 75-106                            | 11.2       |
| 45-75                             | 7.1        |
| <45                               | 3.7        |

Como material de referencia fueron usadas ruedas dentadas producidas a partir de acero forjado de tipo 16MnCr5 y 15CrNi6.

# ES 2 322 768 T3

TABLA 3

*Operaciones secundarias de las ruedas dentadas para el ensayo de resistencia a la fatiga por flexión de la raíz del diente*

| Rueda dentada no.                                |            | material             | Operación secundaria                                                                        |
|--------------------------------------------------|------------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1*                                               | Referencia | 16MnCr5              | Cementado en caja                                                                           |
| 2*                                               | Referencia | 15CrNi6              | Cementado en caja                                                                           |
| 3*                                               | PM         | Fel.5Cr0.2Mo + 0.2%C | Cementado en caja                                                                           |
| 4*                                               | PM         | Fel.5Cr0.2Mo + 0.2%C | Endurecimiento por granallado + bruñido + cementado en caja                                 |
| 5                                                | PM         | Fel.5Cr0.2Mo + 0.2%C | Endurecimiento por granallado + bruñido + cementado en caja + endurecimiento por granallado |
| 6*                                               | PM         | Fel.5Cr0.2Mo + 0.2%C | Laminado superficial + cementado en caja                                                    |
| 7                                                | PM         | Fel.5Cr0.2Mo + 0.2%C | Laminado superficial + cementado en caja + endurecimiento por granallado                    |
| * estos ejemplos no forman parte de la invención |            |                      |                                                                                             |

El cementado en caja se llevó a cabo a 920°C a un potencial de carbono de 0.8, apagado en aceite a 60°C seguido de temple a 200°C durante 20 minutos.

El endurecimiento por granallado se realizó a una intensidad Almen de 0.3 MMA.

El laminado superficial se realizó como laminado radial como en el equipo de laminado superficial que tiene dos herramientas de laminado.

## ES 2 322 768 T3

La siguiente Tabla 4 muestra los resultados.

TABLA 4

| Rueda<br>dentada<br>no.                          |                          | material                 | Operación<br>secundaria                                                                                 | Resistencia<br>a la fatiga<br>por flexión |
|--------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 1*                                               | Acero forjado<br>de ref. | 16MnCr5                  | Cementado en caja                                                                                       | 1400                                      |
| 2*                                               | Acero forjado<br>de ref. | 15CrNi6                  | Cementado en caja                                                                                       | 1250                                      |
| 3*                                               | Acero PM del<br>ensayo   | Fe1.5Cr0.2Mo +<br>0.2%C  | Cementado en caja                                                                                       | 800                                       |
| 4*                                               | Acero PM del<br>ensayo   | Fe1.5Cr0.2Mo +<br>0.2% C | Endurecimiento por<br>granallado + bruñido<br>+ cementado en caja                                       | 1050                                      |
| 5                                                | Acero PM del<br>ensayo   | Fe1.5Cr0.2Mo +<br>0.2% C | Endurecimiento por<br>granallado + bruñido<br>+ cementado en caja<br>+ endurecimiento por<br>granallado | 1300                                      |
| 6*                                               | Acero PM del<br>ensayo   | Fe1.5Cr0.2Mo +<br>0.2% C | Laminado superficial<br>+ cementado en caja                                                             | 1150                                      |
| 7                                                | Acero PM del<br>ensayo   | Fe1.5Cr0.2Mo +<br>0.2% C | Laminado superficial<br>+ cementado en caja<br>+ endurecimiento por<br>granallado                       | 1450                                      |
| * estos ejemplos no forman parte de la invención |                          |                          |                                                                                                         |                                           |

### Ejemplo 2

Para el ensayo de fatiga por contacto los rodillos teniendo un diámetro exterior de 30 mm, diámetro interior de 12 mm y una altura de 15 mm y una superficie de ensayo de 5 mm de ancho fueron producidos. El material de ensayo, basado en Fe1.5Cr0.2Mo, tal como se usó en el ejemplo 1, fue compactado a una presión de compactación de 950 MPa para una densidad verde de 7.52 g/cm<sup>3</sup> seguido de sinterización a 1280°C durante 30 minutos en una atmósfera de 90% de nitrógeno, 10% de hidrógeno. La densidad del sinterizado fue 7.55 g/cm<sup>3</sup>. Como material de referencia rodillos que tienen las mismas dimensiones producidos a partir de acero forjado, SAE 8620 fueron usados. Antes del ensayo, las muestras fueron sometidas a una operación secundaria de acuerdo con la tabla 5. El ensayo se realizó de acuerdo con el método descrito por K. Lipp y G. Hoffmann, en el artículo "Design for rolling contact fatigue", publicado en la Revista Internacional de metalurgia de polvos. Vol. 39/No. 1 (2003), págs. 33-46.

## ES 2 322 768 T3

La siguiente tabla 5 muestra los resultados.

TABLA 5

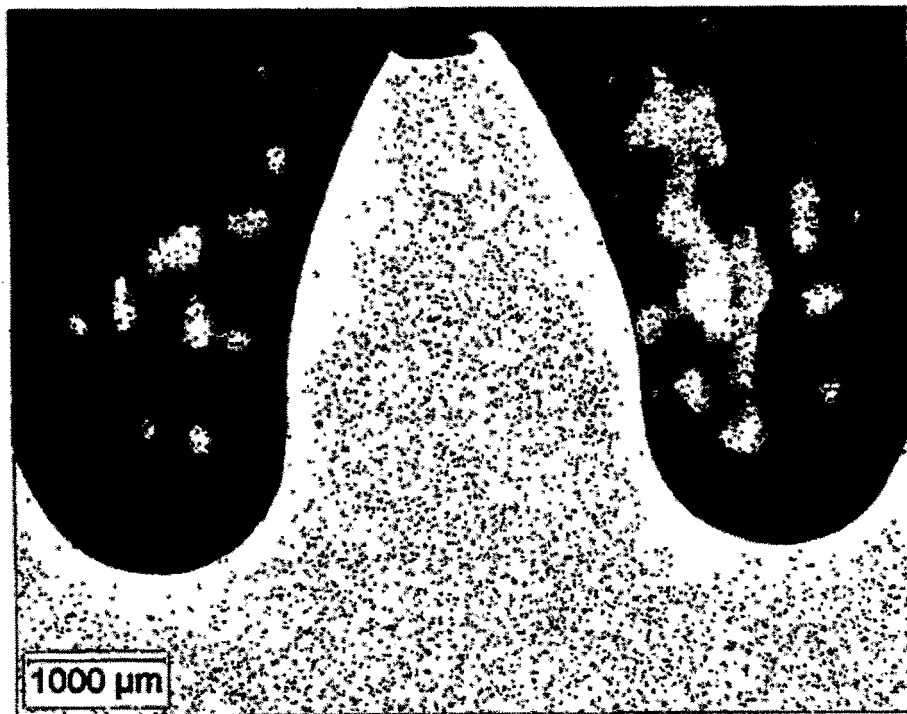
| Rueda dentada<br>no.                             |                          | material                 | Operación<br>secundaria                                                 | Resistencia a<br>la fatiga por<br>contacto al<br>rodamiento |
|--------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 1*                                               | Acero forjado<br>de ref. | SAE 8620                 | Cementado en<br>caja                                                    | 2000                                                        |
| 2*                                               | Acero PM del<br>ensayo   | Fe1.5Cr0.2Mo<br>+ 0.2% C | Laminado<br>superficial +<br>cementado en<br>caja                       | 2000                                                        |
| 3                                                | Acero PM del<br>ensayo   | Fe1.5Cr0.2Mo<br>+ 0.2% C | Endurecimiento<br>por granallado<br>+ bruñido<br>+ cementado en<br>caja | 2000                                                        |
| * estos ejemplos no forman parte de la invención |                          |                          |                                                                         |                                                             |

Como puede ser observado a partir de los resultados de acuerdo a las tablas 4 y 5 la rueda dentada producida de acuerdo a la invención muestra resistencia a la fatiga por flexión y resistencia a la fatiga por contacto al rodamiento al mismo nivel que las ruedas dentadas similares producidas a partir de acero forjado totalmente denso.

Las realizaciones preferidas son meramente ilustrativas y no deben considerarse una restricción de ninguna manera. El alcance de la invención viene dado por las reivindicaciones adjuntas, en lugar de la descripción anterior, y todas las variaciones y los equivalentes que entran en el rango de las reivindicaciones están destinados a ser abarcadas aquí.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método para producir una pieza de metal sinterizado dentada con una resistencia a la fatiga cercana a la resistencia a la fatiga de dicha pieza de metal dentada producida a partir de acero forjado o mecanizado a partir de piezas en barras o forjadas que comprende los pasos de:
- 10 a) compactar uniaxialmente un polvo a base de hierro que tiene o hierro que tiene partículas gruesas donde menos de 10% del polvo tiene un tamaño de partícula inferior a  $45\ \mu\text{m}$ , a una densidad por encima de  $7.35\ \text{g/cm}^3$  en un solo paso de compactación a una presión de compactación de al menos 700 MPa;
- 15 b) después de eso someter la pieza a sinterizar en un solo paso a una temperatura de al menos  $1100^\circ\text{C}$  a una densidad de al menos  $7.35\ \text{g/cm}^3$ ;
- c) después de eso someter la pieza a un proceso de densificación de la superficie;
- d) después de eso someter la pieza a un proceso de tratamiento térmico y
- 20 e) posteriormente, someter la pieza a endurecimiento por granallado.
2. Método de acuerdo a la reivindicación 1, donde el polvo incluye hasta 1% de grafito.
3. Método de acuerdo a la reivindicación 2, donde el polvo incluye además la aleación de aditivos seleccionados del grupo de cromo, molibdeno, manganeso, níquel y cobre.
- 25 4. Método de acuerdo a la reivindicación 3, donde los elementos de aleación son pre-aleados con el polvo a base de hierro.
5. Método de acuerdo a la reivindicación 1, donde el polvo incluye una sustancia lubricante.
- 30 6. Método de acuerdo a la reivindicación 5, donde la sustancia lubricante es adicionada en una cantidad entre 0.05 y 0.6%, y/o entre 0.1 y 0.4%.
7. Método de acuerdo a la reivindicación 1, donde menos de 5% del polvo a base de hierro tiene un tamaño de partículas inferior a  $45\ \mu\text{m}$ .
- 35 8. Método de acuerdo a la reivindicación 2, donde la compactación se realiza a una presión por encima de 800 MPa y/o por encima de 900 MPa.
9. Método de acuerdo a la reivindicación 2, donde la sinterización se realiza a una temperatura por encima de  $1200^\circ\text{C}$  y/o por encima de  $1250^\circ\text{C}$ .
- 40 10. Método de acuerdo a la reivindicación 1, donde el proceso de densificación de la superficie es realizado por laminado.
- 45 11. Método de acuerdo a la reivindicación 1, donde el proceso de densificación de la superficie se realiza por endurecimiento por granallado o endurecimiento por láser.
12. Método de acuerdo a la reivindicación 1, donde después del proceso de densificación de la superficie la pieza es sometida a un proceso de mejora del acabado de superficial.
- 50 13. Método de acuerdo a la reivindicación 2, donde proceso de mejora del acabado de superficial es uno de bruñido, rectificado, pulido o electro-pulido.
14. Método de acuerdo a la reivindicación 1, donde el tratamiento térmico es uno de cementado en caja, nitruración, carbo-nitruración, nitro-carburación, endurecimiento por inducción o endurecimiento total.
- 55 15. Método de acuerdo a la reivindicación 13, donde después del tratamiento térmico, el componente es recubierto con una capa resistente al desgaste y/o lubricante.
- 60 16. Una pieza dentada de metal en polvo producida por el método de la reivindicación 1.
- 65



**Figura 1**