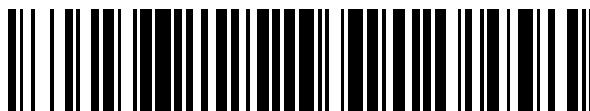


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 723 971**

51 Int. Cl.:

B23D 65/00 (2006.01)

B23K 26/34 (2014.01)

B23K 31/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.09.2015 PCT/EP2015/071175**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.04.2016 WO16050508**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.09.2015 E 15763031 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.01.2019 EP 3200946**

54 Título: **Método de fabricación de un elemento de sierra y elemento de sierra**

30 Prioridad:

01.10.2014 EP 14187315

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

04.09.2019

73 Titular/es:

**NV BEKAERT SA (100.0%)
Bekaertstraat 2
8550 Zwevegem, BE**

72 Inventor/es:

**VANEECKE, JAN y
BAEKELANDT, TOM**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 723 971 T3

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

DESCRIPCIÓN

Método de fabricación de un elemento de sierra y elemento de sierra

5 Campo técnico

La invención se refiere a un método para fabricar un elemento de sierra de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1, y al elemento de sierra de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 9 que resulta de dicho método. El elemento de sierra puede usarse como la parte activa de serrado en un dispositivo de sierra tal como un disco de sierra, una hoja de sierra, un cable de sierra o una herramienta abrasiva. El caso de un elemento de sierra en forma de una perla de sierra para su uso en un cable de sierra es de particular interés para la invención.

Técnica anterior

15 Los elementos de sierra utilizados en hojas de sierra, discos o cables para cortar materiales duros y frágiles, como piedra natural o artificial, se producen principalmente mediante pulvimetalurgia. En este proceso, las partículas abrasivas, que generalmente son partículas de diamante, se mezclan completamente con mezclas de polvos metálicos, se prensan en frío y se sinterizan (prensado en caliente, sinterización libre o prensado isostático en caliente) a temperaturas y presiones elevadas en un compacto que posteriormente se une a una hoja, disco o cable. 20 Las mezclas del material de matriz metálica contienen todo tipo de metales de los que se elige la composición para comprometerse entre:

- el desgaste suficiente, pero no demasiado alto, ya que los compactos demasiado resistentes al desgaste no expondrán los diamantes lo suficiente durante el uso, lo que conduce al pulido de los diamantes. Por otra parte, un desgaste demasiado alto dará lugar a una pérdida prematura del diamante, es decir, antes de que los diamantes se hayan cortado lo suficiente y el elemento de sierra se desgasta demasiado rápido.
- restricciones de temperatura ya que las partículas de diamante son vulnerables al daño por calor. Las temperaturas demasiado altas (por ejemplo, más de 1000 °C durante un período prolongado de tiempo (minutos)) convertirán el diamante en grafito.

30 Por lo tanto, para mejorar la consolidación se usan mezclas de polvos metálicos que tienen altas temperaturas de fusión como cobalto, wolframio, hierro o níquel con una minoría de metales de bajo punto de fusión como cobre, estaño y plata (véase por ejemplo el documento WO 2008/040885). La metalografía resultante muestra células granulares de los metales o aleaciones constitutivos típicos para solidificarse lentamente a partir de la masa fundida.

35 Ya hace algunos años que se ha sugerido el uso de capas metálicas revestidas por láser con partículas abrasivas para su uso en hojas o discos de sierra (documentos EP 1027476, EP 1155768). Cuando se usan partículas de diamante, y en particular cuando se usan partículas de diamante artificiales, la deposición con revestimiento por láser trae algunos problemas particulares. El choque térmico durante la deposición puede iniciar un proceso de grafitación en el núcleo del diamante, catalizado por el catalizador metálico inherentemente presente en la partícula de diamante, por lo que el diamante se vuelve grafito. Como el sustrato masivo (la hoja o el disco) actúa como un disipador de calor, puede controlarse el daño térmico al diamante. En el caso de las perlas de sierra, el revestimiento por láser es más difícil, ya que el pequeño manguito metálico en el que tiene lugar el revestimiento es de tan solo un minuto (menos de unos pocos gramos de masa) y no ofrece un disipador de calor (véase, por ejemplo, el documento WO 2012/119947 del solicitante actual, que divulga los preámbulos de las reivindicaciones 1 y 9).

50 En el documento WO2014166786, este problema se resuelve alternativamente mediante un control cuidadoso de la temperatura durante el revestimiento, ya que se permite que la temperatura supere los 1150 °C, pero durante un tiempo limitado de menos de 200 ms. Las partículas de diamante en general no sobrevivirán a un choque térmico superior a 1300 °C.

55 Como consecuencia, los materiales de matriz metálica en los que la temperatura líquida (es decir, la temperatura en la que un metal o una aleación metálica se transforma completamente de un estado sólido a un estado líquido en condiciones de equilibrio térmico) está por encima de los 1100 °C, generalmente se excluyen del revestimiento por láser con diamantes, ya que el metal o la aleación metálica no se habrán fundido completamente a esa temperatura. Como resultado, la búsqueda de materiales de matriz metálica adecuados para el revestimiento conjunto con partículas de diamante se limita a aquellos metales y aleaciones que tienen una temperatura líquida entre 400 °C y 1000 °C y quizás hasta 1100 °C, pero no más.

60 Posibles aleaciones basadas en níquel que se han sugerido en el documento WO 2012/119947 son:

- Ni-Cr-P en (por ejemplo, con 13 a 15 % en peso de Cr y 9,7 a 10,5 % en peso de P, el balance Ni), que tiene una temperatura líquida de aproximadamente de 900 °C.
- Alternativamente, hay Ni-Cr-Fe-Si-B (por ejemplo, 13 a 15 % en peso de Cr, 2,75 a 3,5 % en peso de B, 4 a 5 % en peso de Si y 4 a 5 % en peso de Fe, el balance Ni). Pero estas aleaciones ya tienen temperaturas líquidas de 1040 °C y mayores.

Desafortunadamente, las aleaciones que comprenden P, B y Si tienden a formar fosfuros duros, boruros o fases de siliciuros que son frágiles (documento EP 1380381 B1) y por lo tanto son menos útiles en elementos de sierra. La precipitación de una fase frágil puede reducirse con la introducción de Mn que actúa como un dispersante para la formación de siliciuros como en una composición de Cr 20 % en peso, Mn 14 % en peso y Si 6 % en peso. Sin embargo, la temperatura líquida luego aumenta a 1080 °C.

Las capas abrasivas revestidas por láser, por lo tanto, generalmente comprenden aleaciones basadas en cobre de fusión a baja temperatura, tales como soldaduras (cobre y zinc como elementos principales) y bronce (cobre y estaño como elementos principales), siendo estos últimos los más preferidos. Otras aleaciones preferidas se basan en plata o indio tales como Ag-Cu, Ag-Cu-Zn o Ag-Cu-In. La adición de Sn, Ag, Zn o In reduce el punto de fusión de la aleación por debajo del de cobre (1080 °C).

Cuando se incorporan partículas de diamante en una capa revestida por láser, también es necesario incorporar un metal activo que humecta las partículas de diamante y mantiene las partículas en el charco de fusión. Sobre todo titanio, a veces se usa cromo para este fin. Por lo tanto, los bronce usados tienen del 10 al 20 % en peso de Sn y entre el 2 y el 10 % en peso de Ti, el resto es cobre.

La metalografía de una capa abrasiva depositada por revestimiento por láser difiere enormemente de la de la capa obtenida por la metalografía en polvo. En la ruta metalúrgica del polvo, todas las fases metálicas están en equilibrio térmico debido a la lentitud del proceso. En el revestimiento por láser, las fases metálicas fundidas pueden enfriarse tan rápido que las fases de equilibrio no tienen tiempo para crecer lo suficiente. Por lo tanto, una capa revestida por láser puede, bajo las condiciones apropiadas de deposición y velocidad de solidificación, mostrar una estructura dendrítica fina en la que las fases con un punto de solidificación más bajo son expulsadas de las fases que tienen un punto de solidificación más alto. Las fases con un punto de solidificación más bajo pueden encontrarse entre las hojas y los tallos formados por las fases que tienen un punto de solidificación más alto.

Aunque esta estructura metalográfica fina obtenida por el revestimiento por láser mejora la resistencia al desgaste de la capa abrasiva, la dureza de las matrices metálicas de bajo punto de fusión comúnmente utilizadas todavía no es óptima para su uso en aplicaciones de serrado. Aunque la retención del diamante es buena y el daño a los diamantes todavía es aceptable, la capa abrasiva todavía tiende a desgastarse demasiado rápido.

Por lo tanto, los inventores han buscado otras composiciones de matriz metálica que puedan estar revestidas por láser y que proporcionen excelentes propiedades de serrado. Para revestir estas capas abrasivas también se ha tenido que reinventar el método de deposición.

Divulgación de la invención

Por lo tanto, un objetivo de la presente invención es proporcionar un método para revestir por láser un elemento de sierra que tenga un comportamiento de serrado óptimo. Con un "comportamiento de serrado óptimo" se entiende que el desgaste de las partículas abrasivas está en sintonía con el desgaste del material de matriz metálica que rodea las partículas abrasivas. Las partículas abrasivas en sí mismas no se dañan o solo se dañan ligeramente durante el proceso de revestimiento por láser. Un objetivo adicional de la presente invención es divulgar composiciones de material de matriz metálica que se ha descubierto que dan lugar a un comportamiento de serrado óptimo de un elemento de sierra fabricado mediante revestimiento por láser. Otro objetivo de la invención es proporcionar un elemento de sierra en forma de una perla de sierra que puede usarse en un cable de sierra.

De acuerdo con la invención, se proporciona un método para fabricar un elemento de sierra de acuerdo con la reivindicación 1. El elemento de sierra está construido sobre un sustrato metálico y comprende una capa abrasiva depositada mediante revestimiento por láser. El elemento de sierra se fabrica de la siguiente manera:

- primero, se proporciona un sustrato metálico. El sustrato metálico puede ser un disco de sierra circular o una hoja rectangular, o puede ser un pequeño manguito metálico que se usa para hacer perlas de sierra. El sustrato metálico puede estar hecho de acero inoxidable o de un acero no aleado, por ejemplo, acero bajo en carbono;
- en segundo lugar, el material de matriz metálica en forma de polvo se transporta en un flujo de gas al sustrato metálico. El flujo de gas es un flujo de gas inerte tal como un flujo de gas argón;
- las partículas abrasivas se suministran ya sea en el flujo de gas o separadas del flujo de gas;
- la energía se suministra en un punto específico en el sustrato metálico por medio de un haz de láser.

El haz de láser calienta localmente el material de matriz metálica en el punto del haz sobre el sustrato metálico. El sustrato metálico y el haz de láser están hechos para moverse uno con respecto al otro, moviendo el sustrato metálico debajo del haz de láser o moviendo el haz de láser sobre el sustrato metálico o ambos. Al mismo tiempo, las partículas abrasivas se añaden a la capa abrasiva de formación. En el punto de impacto del haz de láser, se alcanzará una temperatura de proceso que se determina por la entrada de calor del láser menos la extracción de calor por el polvo de matriz metálica añadido, que se fundirá parcial o totalmente, y el calor arrastrado por el sustrato metálico (ya sea por conducción de calor y/o moviendo físicamente el sustrato metálico fuera del haz de láser). El

método no excluye que se deposite una capa abrasiva sobre una capa abrasiva ya depositada. En el caso de una perla de sierra, la pista de la deposición de láser vuelve repetidamente sobre una capa abrasiva ya depositada.

De acuerdo con la invención, el polvo de material de matriz metálica es una mezcla que comprende un polvo metálico de bajo punto de fusión y un polvo metálico de alto punto de fusión. El polvo metálico de bajo punto de fusión tiene una temperatura líquida por debajo de la temperatura de proceso, mientras que el polvo metálico de alto punto de fusión tiene una temperatura líquida por encima de esta temperatura de procesamiento. Posiblemente los polvos metálicos de bajo punto de fusión y de alto punto de fusión se alimentan a partir de diferentes canales o vienen en una sola corriente de gas. Esto último se prefiere más ya que la mezcla es más íntima.

Los inventores razonaron intuitivamente de la siguiente manera: como generalmente los polvos metálicos de alto punto de fusión son más duros, el uso de una mezcla de una fase de bajo punto de fusión que se licue completamente durante la deposición y de un polvo metálico de alto punto de fusión que puede no fundirse completamente durante la deposición dará como resultado una matriz metálica en la que las regiones metálicas más duras se soldarán por las fases más suaves y de bajo punto de fusión, lo que dará lugar a un material de matriz metálica más duro en general. Como se ha mencionado, este razonamiento es intuitivo y de ninguna manera limita la invención.

En un método refinado adicional, la temperatura sólida del polvo metálico de alto punto de fusión está por encima de la temperatura de procesamiento.

La temperatura líquida es la temperatura a la que un metal sólido o una aleación de metales se transforma en un estado completamente líquido en condiciones de equilibrio térmico. La temperatura sólida es la temperatura a la que un metal líquido o una aleación de metales se transforma completamente en un estado sólido. La temperatura líquida es siempre mayor que la temperatura sólida.

En una realización adicional preferida de la invención, la temperatura del proceso en la superficie de la capa abrasiva está entre 1000 °C y 1300 °C o incluso más preferentemente entre 1000 °C y 1150 °C. Esta temperatura del proceso es suficiente para fundir y soldar los polvos entre sí mientras que las partículas abrasivas (en particular los diamantes) no se ven afectadas. Como la velocidad de enfriamiento en el revestimiento por láser debe ser sustancial para obtener las estructuras metalográficas deseadas, la duración del calentamiento hasta la temperatura del proceso permanece limitada. Por ejemplo, para temperaturas de 1150 °C, la duración de la exposición al calor a los diamantes debe ser inferior a 200 ms, para temperaturas de 1200 °C, debe ser inferior a 100 ms y para temperaturas de 1250 ° inferior a 50 ms. Dentro de esos límites, el daño a las partículas de diamante sigue siendo razonable.

Preferentemente, la temperatura del proceso se controla ajustando la entrada de energía del láser. Aún más preferido es si la entrada de energía del láser se controla en un circuito de retroalimentación basado en la temperatura de proceso medida. La temperatura del proceso se detecta mediante un sensor de temperatura de alta velocidad, tal como un sensor de temperatura infrarrojo o una cámara. Una cámara tiene la ventaja de que se puede hacer una evaluación en tiempo real del campo de temperatura general en la región calentada. Con alta velocidad se entiende: al menos 100 mediciones por segundo. A velocidades más bajas, la temperatura se mide demasiado tarde y la retroalimentación al láser se retrasa con la temperatura en el punto de láser.

Preferentemente, el polvo metálico de bajo punto de fusión es una aleación basada en cobre. Una aleación basada en cobre es una aleación en la que el porcentaje en peso de cobre es mayor que cualquiera de los porcentajes en peso de los otros elementos de la aleación. El porcentaje en peso de cobre es el balance de manera que los porcentajes de cobre y de los otros elementos suman el 100 por ciento.

Ejemplos notables de aleaciones basadas en cobre son el latón (cobre y zinc), el bronce (cobre y estaño) y aleaciones de cobre con plata, bismuto, antimonio, indio, plomo y fósforo. También son posibles las aleaciones ternarias o incluso cuaternarias, por ejemplo, en bronce al estaño con plomo o bronce fosforoso. Por conveniencia, el grupo de elementos que consiste en estaño, zinc, plata, bismuto, antimonio, indio, plomo y fósforo se denominará el primer grupo de elementos. El más preferido es el estaño como un elemento de aleación al cobre. Los ejemplos típicos son Cu-Sn (con un 8 a un 14 % en peso de estaño) o CuP (con un 2 a un 10 % en peso de fósforo).

Preferentemente, el polvo metálico de alto punto de fusión comprende uno o más metales de un segundo grupo que consiste en níquel, hierro, cobalto y manganeso. Las más preferidas son las aleaciones que al menos comprenden una cantidad sustancial de níquel, es decir, son aleaciones basadas en níquel. También se prefiere el níquel en sí mismo. Con este fin, puede usarse el polvo de níquel, por ejemplo, tal como se obtiene a través de la ruta carbonilo. El polvo es níquel puro, excepto por los elementos traza inevitables.

Las aleaciones basadas en níquel son preferentemente pero no exclusivamente:

- Inconel 600 (un 14 a un 17 % en peso de Cr, un 6 a un 10 % en peso de Fe, el balance de Ni y elementos traza inevitables);

- Inconel 625 (un 20 a un 23 % en peso de Cr, máximo un 5 % en peso de Fe, un 8 a un 10 % en peso de Mo, un 3,15 a un 4,15 % en peso de Nb, el balance de Ni y elementos traza inevitables);
- Hastalloy X (un 20,5 a un 23 % en peso de Cr, un 17 a un 20 % en peso de Fe, un 8 a un 10 % en peso de Mo, un 0,05 a un 0,15 % en peso de C, un 0,2 a 1 % en peso de W, un 0,5 a un 2,5 % en peso de Co, el balance de Ni y elementos traza inevitables).

Alternativamente, pueden usarse aleaciones basadas en hierro tales como aceros inoxidable. Los aceros inoxidable comprenden al menos un 10,5 % en peso de cromo. Los más preferidos son los aceros inoxidable que también comprenden níquel, tales como:

- Incoloy 800 (un 19 a un 23 % en peso de Cr, un 0,15 a un 0,6 % en peso de Al, un 0,15 a un 0,6 % en peso de Ti, un 30 a un 35 % en peso de Ni, el balance de Fe y otros elementos traza).
- SS-316L (un 16 a un 18 % en peso de Cr, un 10 a un 14 % en peso de Ni, un 2 a un 3 % en peso de Mo, el balance de Fe y otros elementos traza).

Adicionalmente y preferentemente, el polvo metálico de bajo punto de fusión y/o el polvo metálico de alto punto de fusión comprende(n) además uno o más del grupo de metales activo que consiste en cromo, titanio, vanadio, tungsteno, circonio, niobio, molibdeno, tántalo y hafnio. Como metal activo el más preferido es el titanio. Preferentemente, el titanio es parte del polvo metálico de bajo punto de fusión, por ejemplo en un bronce (Cu-Sn-Ti). Se prefiere el cromo como elemento de aleación al polvo metálico de alto punto de fusión.

Se prefiere la presencia de un metal activo para retener las partículas abrasivas en el material de matriz metálica. Las propias partículas abrasivas son preferentemente partículas que contienen carbono tales como diamante, carburo de silicio, carburo de tungsteno, carburo de titanio o mezclas de los mismos, ya que se humectan fácilmente mediante todos los metales activos mencionados. Los nitruros, como el nitruro de boro cúbico, se humectan mejor con titanio. El más preferido es el diamante (es decir, el carbono casi puro) tanto artificial como natural, prefiriéndose más el primero por su menor coste.

El tamaño medio del polvo metálico de fusión a baja o alta temperatura no es limitativo de la invención, pero en general está entre 5 y 100 μm . El tamaño del polvo metálico es tal que puede obtenerse un caudal uniforme en el flujo de gas.

En general, en el método pueden usarse partículas abrasivas con un tamaño entre 100 μm y 600 μm , más preferentemente entre 180 μm y 500 μm . Las partículas para el corte de piedra son preferentemente de grano grande, es decir, con un amplio intervalo de tamaños de grano, tamaño de malla US 30/40, tamaño de malla 40/50 o tamaño de malla 50/60 (los tamaños de malla son de acuerdo con la norma estadounidense ASTM E 11, cuanto mayor sea el número, menores las partículas). El más preferido para los elementos de serrado es un tamaño de malla 40/50. Un tamiz de malla 40 tiene aberturas cuadradas de 420 μm de lado por las que pasan partículas de menor tamaño. Parte de esas partículas más pequeñas se mantendrán en el tamiz de malla 50 con aberturas cuadradas de 297 μm de lado. El tamaño medio de las partículas restantes es de aproximadamente 427 μm en el sistema de designación de tamaños de grano de acuerdo con la FEPA (Federación de Productores Europeos de Abrasivos) que asigna un tamaño medio para cada tamaño de malla. Los tamaños de malla más pequeños se pulirán durante el uso y, por lo tanto, no erosionarán el material pétreo.

No debe haber mucho polvo metálico de alto punto de fusión para tener un efecto distintivo en el comportamiento de serrado del elemento de sierra. Los inventores han descubierto que incluso menos del 10 por ciento en peso de la fracción de polvo metálico de alto punto de fusión en el flujo total de polvo metálico de la matriz es suficiente para mejorar la dureza del material de matriz metálica. En el extremo inferior, debe haber al menos un 0,5 por ciento en peso de polvo metálico de alto punto de fusión en el flujo metálico de la matriz antes de poder observar un efecto ventajoso. Se obtienen mejores resultados con entre un 1 y un 8 por ciento en peso de polvo metálico de alto punto de fusión en el flujo total de polvo metálico de la matriz. Lo óptimo es entre un 4 y un 6 por ciento en peso.

De acuerdo con la invención, se proporciona un elemento de sierra definido por las características de la reivindicación 9.

Los elementos de la sierra, cuando se obtienen apropiadamente de acuerdo con los métodos descritos, aún muestran una estructura metalográfica dendrítica, pero la presencia de un polvo metálico de alto punto de fusión da lugar a una mayor dureza del material de matriz metálica.

La dureza de los materiales metálicos generalmente se determina en un ensayo de dureza Vickers de acuerdo con la ISO 6507-1: "Materiales metálicos-Ensayo de dureza Vickers-Parte 1: Método de ensayo". En este ensayo, se presiona un indentador de diamante piramidal sobre la sección transversal pulida del material de matriz metálica. La indentación que permanece después de retirar el indentador tiene una forma piramidal con una diagonal de base media de "d" en mm. Dentro de esta solicitud, la fuerza de indentación usada en el indentador es de 300 gf o 2,94 N. La dureza Vickers se calcula a partir de la fuerza de indentación y de la diagonal media medida "d" y se expresa en una escala HV en unidades de gigapascales (GPa). La fuerza se mantiene durante 10 segundos. Se toma el

promedio de al menos 10 posiciones. Las posiciones de indentación están separadas entre sí, del borde y de las partículas abrasivas al menos 3 veces "d" para no distorsionar la medición.

De acuerdo con la invención, el material de matriz metálica del elemento de sierra tiene al menos una dureza Vickers de 200 HV, más preferentemente un valor superior a 210 HV o incluso superior a 220 HV o superior a 240 HV.

Las composiciones elementales generales más preferidas del material de matriz metálica del elemento de sierra comprenden al menos el 60 por ciento en peso de cobre, y entre el 0,5 y el 10 por ciento en peso en total de uno o más elementos del segundo grupo que consiste en níquel, hierro, cobalto y manganeso. La fracción de cobre puede ser superior al 70 por ciento en peso o incluso superior al 75 por ciento en peso. En cualquier composición, el cobre es el elemento de balance que hace que la composición total sea del 100 % en peso.

Alternativamente, la cantidad de elementos del segundo grupo puede estar entre un 1 a un 7 por ciento en peso, o incluso más específicamente entre un 1,2 a un 5 por ciento en peso.

El material de matriz metálica comprende además elementos del primer grupo que consiste en elementos de fusión a baja temperatura: estaño, zinc, plata, bismuto, antimonio, indio, plomo y fósforo y del grupo de metales activos que consiste en cromo, titanio, vanadio, tungsteno, zirconio, niobio, molibdeno, tantalio y hafnio.

En una realización más preferida, el material de matriz metálica del elemento de sierra comprende entre el 7 y el 20 por ciento en peso en total de los elementos del primer grupo, por ejemplo entre el 8 y el 15 por ciento en peso y entre el 5 y el 15 por ciento en peso en total de elementos del grupo de metales activos. Esto además de al menos el 60 por ciento en peso de cobre (el balance), y entre un 0,5 a un 10 por ciento en peso en total de uno o más elementos del segundo grupo.

Estas son composiciones preferidas del material de matriz metálica y no incluyen la fracción en peso de las partículas abrasivas. Para determinar la composición, el material de matriz metálica puede disolverse en reactivos adecuados y analizarse mediante las técnicas convencionales conocidas en química analítica. Alternativamente, y más preferentemente, la composición elemental puede determinarse por medio de técnicas de microanálisis físico como el análisis de dispersión de la energía con rayos X (EDX) o el análisis de dispersión de longitudes de onda con rayos X (WDX). Debe tenerse cuidado de muestrear y promediar suficiente profundidad y anchura de la superficie.

La introducción de un polvo metálico de alto punto de fusión en el proceso de revestimiento por láser hace que el uso de otros materiales de endurecimiento cerámicos en la capa abrasiva sea superfluo. Muchas veces, estos óxidos cerámicos (por ejemplo, óxido de aluminio), carburos (por ejemplo, carburo de tungsteno), nitruros o boruros se añaden para aumentar la resistencia al desgaste del material de matriz metálica. Cuando estos materiales se introducen en capas abrasivas revestidas por láser para elementos de sierra, muchas veces causan más daño que beneficio. Tienden a flotar o a hundirse en el charco de metal líquido debido a su diferencia de densidad con el charco de metal formando así capas enriquecidas con estos materiales que forman un plano de fractura preferido a través del elemento de sierra. O no humectan ni se unen muy bien al material de matriz metálica y debilitan la matriz en lugar de fortalecerla. Por lo tanto, una realización particularmente preferida es un elemento de sierra que está libre de óxidos cerámicos, carburos, nitruros o boruros añadidos. Sin embargo, esto no excluye que puedan formarse óxidos, carburos, nitruros o boruros cerámicos durante la deposición por láser. Estos están presentes en regiones microscópicas y no dañan la resistencia del elemento de sierra.

La invención es particularmente útil para producir perlas de sierra. Una perla de sierra de este tipo se define como un elemento de sierra de acuerdo con la reivindicación 13 y comprende un manguito de metal como sustrato metálico para colocar la capa abrasiva. La capa abrasiva se deposita en capas posteriores, mientras que el manguito se hace girar bajo el cabezal de revestimiento por láser. Se hace referencia a los documentos WO 2012/119946 y WO 2012/119947 del solicitante actual. Este es un tercer aspecto de la invención.

De acuerdo con un cuarto aspecto de la invención, se proporciona un cable de sierra de acuerdo con la reivindicación 14. Un cable de sierra de este tipo comprende un cable de acero con perlas de sierra enroscadas en el mismo. Las perlas de sierra están hechas y tienen la composición que se ha explicado anteriormente. Posiblemente las perlas se separan con un manguito de polímero entre ellas.

Breve descripción de las figuras en los dibujos

Figura 1: dureza Vickers de las capas abrasivas de diferente composición.

Figura 2: influencia de la cantidad de Inconel 625 en el polvo de material de matriz metálica sobre la dureza de la capa abrasiva.

Modo(s) para llevar a cabo la invención

Como elementos de sierra se eligieron perlas para su uso en un cable de serrado. Sin embargo, los métodos y composiciones revelados a continuación pueden transferirse fácilmente a cualquier otro tipo de elemento de sierra.

Hacer una perla de sierra con revestimiento por láser en un pequeño manguito metálico es, en este sentido, más difícil que poner elementos de sierra mediante revestimiento por láser sobre un sustrato masivo.

En una serie de experimentos, se hicieron perlas de sierra revestidas por láser en manguitos cilíndricos de acero suave de 12 mm de longitud, con un diámetro exterior de 5,00 mm y un espesor de pared de 0,575 mm.

5

Se usó el siguiente tipo de equipo:

Sistema de revestimiento por láser.

- 10
- Láser de diodo "Laserline LDF 2.5 kW" en modo continuo a longitudes de onda de 808 y 940 μm .
 - Un canal de alimentación lateral para alimentar el polvo de matriz metálica y las partículas abrasivas, las partículas pueden controlarse por separado del flujo de polvo de matriz metálica.

Equipos de manipulación de polvo:

15

- Dos tolvas Sulzer Metco Twin de polvo.
- Suministro de gas: argón.

20

Se usó un núcleo de tolva de polvo para alimentar las partículas abrasivas en forma de diamantes. Los diamantes fueron diamantes artificiales tamizados en malla 40/50 con un tamaño medio de 415 μm .

La tolva de polvo doble permitió mezclar dos polvos metálicos diferentes en el flujo de gas cambiando la velocidad de alimentación de una a otra. Los dos polvos diferentes se mezclan con los diamantes en una cámara de mezclado antes de alimentarse a través del canal de alimentación a la perla de sierra.

25

Como polvo metálico de bajo punto de fusión, se usó un bronce enriquecido con titanio de composición Cu (el balance)-Sn (13 % en peso)-Ti (9 % en peso) obtenido de Phoenix Scientific Industries Ltd. El metal reactivo-titanio se incorpora por lo tanto en el polvo metálico de bajo punto de fusión. El análisis calorimétrico de exploración diferencial reveló que las transiciones de fase sólido-sólido se inician a aproximadamente 765 $^{\circ}\text{C}$ y que el polvo se convierte completamente en líquido (temperatura líquida) a 972 $^{\circ}\text{C}$. Por lo tanto, la temperatura de fusión es inferior a 1000 $^{\circ}\text{C}$. El tamaño medio de las partículas estaba entre 20 y 25 μm .

30

Como polvo metálico de alto punto de fusión probaron diferentes composiciones:

- 35
- Polvo de hierro puro con un punto de fusión de 1535 $^{\circ}\text{C}$.
 - Polvo de acero inoxidable 316L con un intervalo de fusión entre 1371 y 1399 $^{\circ}\text{C}$. El polvo se tamizó a un tamaño máximo de 75 μm .
 - Polvo Inconel 625 con un intervalo de fusión (sólido a líquido) de 1290 a 1350 $^{\circ}\text{C}$. El tamaño de partícula estaba entre 15 a 45 μm .

40

Mientras que la velocidad de alimentación del polvo metálico de bajo punto de fusión de la primera tolva se mantuvo constante, se varió la velocidad de alimentación de la segunda tolva con el polvo metálico de alto punto de fusión. El porcentaje en peso del polvo metálico de alto punto de fusión en el total del material de matriz metálica en la perla de sierra se determinó mediante SEM-EDX.

45

No se añadió relleno cerámico, como carburo de tungsteno, óxido de aluminio u otros, a la capa abrasiva.

El sustrato metálico en forma de manguito está hecho para girar a 200 rpm. El láser se enciende y después de una rotación, el suministro de la mezcla de polvo metálico de bajo punto de fusión y de alto punto de fusión se sopla a través del canal de alimentación junto con las partículas de diamante. La temperatura se monitorizó a través de una cámara E-Maqs que operaba a una frecuencia de muestreo de 220 Hz y se midió en un filtro de paso de banda infrarrojo de 740 nm. La temperatura se mantuvo a aproximadamente 1100 $^{\circ}\text{C}$.

50

En las primeras pruebas, el polvo de bajo punto de fusión de cobre, estaño y titanio se combinó con polvo de hierro. La reacción de oxidación del hierro dio lugar al cegamiento de la cámara E-Maqs y no pudo formarse una capa fiable. Sin embargo, podrían realizarse mediciones de dureza.

55

La segunda serie de pruebas con acero inoxidable 316L discurrió mejor y las perlas pudieron producirse con éxito. Mostraron una mayor dureza en comparación con las muestras de referencia hechas solo con el componente de polvo metálico de bajo punto de fusión. Téngase en cuenta que ahora está presente un segundo metal reactivo, el cromo, que proviene del polvo metálico de alta temperatura de fusión, mientras que el primer metal reactivo, el titanio, está presente en el polvo de baja temperatura de fusión.

60

La tercera serie de pruebas con Inconel 625 discurrió sin problemas. Se midió una dureza aún mayor. La primera, la segunda y la tercera serie de pruebas se realizaron con ajustes idénticos para el primer y el segundo alimentador de polvo.

5 La figura 1 muestra la dureza Vickers medida de las diferentes capas abrasivas. El recubrimiento abrasivo hecho de Cu-Sn-Ti solo mostró una dureza promedio de aproximadamente 199 HV medida a 300 g después de 10 segundos. El recubrimiento reforzado con acero inoxidable muestra un valor promedio de 210 HV, el recubrimiento con polvo de hierro un promedio de 225 HV y el recubrimiento con Inconel 625 combinado mostró la mayor dureza: en promedio se midieron aproximadamente 245 HV.

10 En una segunda serie de experimentos, se realizaron una serie de pruebas con diferentes cantidades de Inconel 625. Al ajustar la velocidad de alimentación de la segunda tolva, pudo obtenerse una fracción en peso diferente de Inconel 625 en el total del flujo de polvo combinado. La fracción en peso de Inconel 625 obtenida en el flujo de material combinado fue: 4,2, 4,8, 5,6 y 6,9 % en peso.

15 Los resultados se representan en la figura 2. Resulta que se obtiene una dureza máxima para un porcentaje de peso de Inconel 625 en el material de matriz metálica total de entre un 5 y un 6 %. Se obtuvo una dureza óptima del material de matriz metálica con una composición en polvo del 95,2 % en peso de CuSnTi con un 4,8 % en peso de Inconel 625 (Tabla I, el diamante abierto en la figura 2). Un porcentaje demasiado alto de polvo metálico de alto punto de fusión da un efecto de deterioro sobre la dureza. Un análisis metalúrgico demostró que la muestra con la mayor carga de polvo metálico de alto punto de fusión (6,9 % en peso) mostró estructuras similares a agujas que eran frágiles y diferentes de las estructuras similares a las dendríticas familiares.

25 La composición elemental total fue la siguiente (medición SEM-EDX)

Tabla I

Elemento	Ni	Cu	Sn	Cr	Ti	Nb	Mo	Suma
% en peso	2,3	76,5	10,6	1,1	8,1	0,4	1,0	100
CuSnTi		76,5	10,6		8,1			95,2
Inconel 625	2,3			1,1		0,4	1,0	4,8
Primer grupo			10,6					10,6
Segundo grupo	2,3							2,3
Metales activos				1,1	8,1	0,4	1,0	10,6

30 Con la composición óptima de Cu-Sn-Ti con Inconel 625, se fabricaron una serie de perlas de sierra. Las perlas de sierra se encordaron en un cable de acero de 7x7/3,5 mm y se moldeó poliuretano por inyección entre las perlas para obtener un cable de sierra. En un ensayo de campo, cinco de dichos cables de sierra pudieron cortar 11,5 metros cuadrados de granito con diferentes grados de dureza por metro de cable de sierra. En este número se han tenido en cuenta los factores de corrección atribuidos a los diferentes tipos de granito, como es habitual en el campo.

35 En una segunda serie de experimentos, se añadió polvo de Ni puro (temperatura líquida a 1455 °C, tamaño de partícula medio de 40 µm) a un flujo de Cu-Sn-Ti (80,2/12,2/7,7 fracciones de % en peso, temperatura líquida de 970 °C). Las composiciones elementales resultantes (determinadas por SEM-EDX) y la dureza Vickers medida en el material de matriz metálica se reproducen en la Tabla II.

40 Tabla II

Composición (en % en peso)				Dureza (HV)	
Cu	Sn	Ti	Ni	Promedio	Estándar
80,2	12,2	7,7	0,0	183	8
79,3	12,3	7,4	1,0	200	6
79,5	11,8	7,1	1,5	217	13
79,0	11,8	7,0	2,2	230	13

45 Para aquellas composiciones que tienen una dureza superior o igual a 200 HV, la cantidad de metal activo (solo Ti) está entre el 7,0 y el 7,4 % en peso, la cantidad de elementos del primer grupo (solo Sn) entre el 11,8 y el 12,3 % en peso, la cantidad de metales del segundo grupo (solo Ni) entre el 1,0 y el 2,2 % en peso. El balance de cobre está entre el 79,0 y el 79,3 % en peso, es decir, muy por encima del 60 % en peso. Todas estas entran dentro de los intervalos sugeridos. Está claro que incluso una menor adición de un elemento del segundo grupo proporciona un marcado aumento de la dureza.

50 Un estudio en profundidad por medio de XRD, SEM (EDX y microanálisis por sonda de electrones EPMA), y LOM (Microscopía óptica de luz) sobre las diferentes fases formadas al añadir un polvo metálico de fusión a alta temperatura como Ni o Inconel a un bronce de fusión a baja temperatura como Cu-Sn (13 % en peso de Sn) con Ti como metal activo adicional (9 % en peso de Ti) reveló las siguientes características:

- El Cu-Sn-Ti puro (13/9) muestra después del revestimiento una forma de base que está compuesta de dendritas de cobre (Fase A). Entre las dendritas, está presente una estructura laminar fina, que presumiblemente contiene (Cu) Sn₃Ti₅ (Fase B) y Cu.
- 5 – Al agregar Inconel o Ni al polvo, esta microestructura cambia por completo. El Ni y el Inconel tienen el mismo efecto en este sentido. A bajas concentraciones de níquel (<5 % en peso de Ni) las dendritas y la estructura laminar todavía están presentes, pero se forma una fase (Cu, Ni, Sn, Ti) (Fase C). A una alta concentración de níquel (≥5 % en peso de Ni), las dendritas de la fase A desaparecen y el Cu se encuentra entre las regiones alargadas (Cu, Ni, Sn, Ti). Agregar más Ni o Inconel no aumenta más la presencia de la Fase C. Sin embargo,
- 10 las perlas resultantes de dicha composición resultan ser menos buenas.
- El aumento de la cantidad de Sn (a partir de Cu-Sn (24 % en peso)-Ti (5 % en peso) o Cu-Sn (23 % en peso)-Ti (10 % en peso) parece suprimir la formación de la Fase C.
- La fase C (Cu, Ni, Sn, Ti) no se encuentra en las bases de datos de XRD.
- 15 Sin embargo, los picos coinciden estrechamente con la estructura cristalina de Ni₂SnTi. Los ensayos de recocido a 700 °C no revelaron que la Fase C sea metaestable: los picos de XRD permanecen.
- En la Fase C, los cuatro metales Cu, Ni, Sn y Ti están presentes en cantidades aproximadamente iguales (alrededor del 25 % cada uno) aunque se encuentran grandes variaciones espaciales (SEM-EPMA).
- 20 – El método de refinamiento de Rietveld aplicado en los espectros de XRD revela que la Fase C (tomando los picos de Ni₂TiSn como referencia) representa al menos el 10 % del total de las fracciones de fase, incluso con adiciones bajas de níquel.
- Desde la LOM parece que la Fase C está presente en las regiones globulares.
- 25 Añadir más níquel elimina completamente las estructuras dendríticas.
- Las pruebas de nano-indentación muestran que las regiones de la Fase C tienen una dureza intermedia a las regiones de la Fase A (Cu) y de la Fase B ((Cu) Sn₃Ti₅): 7000 a 10000 MPa (Fase C) en comparación con 3500 MPa (Fase A) y 15000 (Fase B).
- 30 Se presume que la presencia del polvo metálico de alto punto de fusión influye en la dureza general del polvo metálico de bajo punto de fusión. A este respecto, la presencia de la Fase C que comprende (Cu, Sn, Ti, Ni) parece ser un buen indicador del balance de dureza correcto.
- 35 Por lo tanto, los inventores afirman que un buen elemento de sierra mostrará una fracción de Fase C entre el 7 y el 13 %, o incluso más preferentemente entre el 9 y el 11 % según lo determinado en un método de refinamiento de Rietveld aplicado en los espectros de XRD obtenidos en el elemento de sierra.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Método de fabricación de un elemento de sierra que comprende un sustrato metálico y una capa abrasiva, que comprende las etapas de:
- proporcionar un sustrato metálico;
 - proporcionar un suministro de material de matriz metálica en forma de polvo transportado en un flujo de gas a dicho sustrato metálico;
 - 10 – suministrar partículas abrasivas;
 - suministrar energía mediante un haz de láser;
- en el que dicho haz de láser calienta dicho material de matriz metálica sobre dicho sustrato metálico que está hecho para moverse con respecto a dicho haz de láser, mientras que dichas partículas abrasivas se añaden a la capa abrasiva que se forma, y dicho calentamiento se efectúa a una temperatura de proceso
- 15 caracterizado por que dicho polvo de material de matriz metálica es una mezcla que comprende un polvo metálico de bajo punto de fusión y un polvo metálico de alto punto de fusión, teniendo dicho polvo metálico de bajo punto de fusión una temperatura líquida por debajo de dicha temperatura de proceso, teniendo dicho polvo metálico de alto punto de fusión una
- 20 temperatura líquida por encima de dicha temperatura de proceso.
2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la temperatura sólida de dicho polvo metálico de alto punto de fusión está por encima de dicha temperatura de proceso.
- 25 3. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, en el que dicha temperatura de proceso está entre 1000 °C y 1300 °C.
4. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que dicho polvo metálico de bajo punto de fusión está basado en una aleación de cobre;
- 30 5. El método de acuerdo con la reivindicación 4, en el que dicho polvo metálico de bajo punto de fusión comprende además uno o más de un primer grupo de elementos que consiste en estaño, zinc, plata, bismuto, antimonio, indio, plomo y fósforo.
- 35 6. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que dicho polvo metálico de alto punto de fusión comprende uno o más metales de un segundo grupo que consiste en níquel, hierro, cobalto y manganeso.
- 40 7. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que dicho polvo metálico de bajo punto de fusión y/o dicho polvo metálico de alto punto de fusión comprende(n) además uno o más del grupo de metales activos que consiste en cromo, titanio, vanadio, tungsteno, zirconio, niobio, molibdeno, tantalio y hafnio.
- 45 8. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que la fracción en peso de dicho polvo metálico de alto punto de fusión en el total de dicho polvo de material de matriz metálica es inferior al 10 por ciento.
9. Un elemento de sierra que comprende un sustrato metálico con una capa abrasiva depositada sobre el mismo, comprendiendo dicha capa abrasiva partículas abrasivas contenidas en un material de matriz metálica caracterizado por que dicha capa abrasiva se deposita mediante un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a
- 50 8,
- en el que el polvo del material de matriz metálica suministrado al sustrato metálico es una mezcla que comprende un polvo metálico de bajo punto de fusión y un polvo metálico de alto punto de fusión, teniendo dicho polvo metálico de bajo punto de fusión una temperatura líquida por debajo de la temperatura de proceso, teniendo dicho polvo metálico de alto punto de fusión una temperatura líquida por encima de la temperatura de proceso, y en el que
- 55 la dureza Vickers del material de matriz metálica es de al menos 200 HV medida con una fuerza de indentación de 2,94 N mantenida durante 10 segundos y promediada en al menos diez posiciones en una sección transversal pulida del material de matriz metálica.
- 60 10. El elemento de sierra de acuerdo con la reivindicación 9, en el que la composición global de dicho material de matriz metálica comprende al menos el 60 por ciento en peso de cobre y entre el 0,5 y el 10 por ciento en peso de uno o más metales de un segundo grupo que consiste en níquel, hierro, cobalto y manganeso.
- 65 11. El elemento de sierra de acuerdo con la reivindicación 10, en el que la composición global de dicho material de matriz metálica comprende además entre un 7 y un 20 por ciento en peso de elementos de un primer grupo que consiste en estaño, zinc, plata, bismuto, antimonio, indio, plomo y fósforo y entre un 5 y un 15 por ciento en peso de

metales de un grupo de metales activos que consiste en cromo, titanio, vanadio, wolframio, zirconio, niobio, molibdeno, tantalio y hafnio.

12. El elemento de sierra de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en el que dicha capa abrasiva está libre de óxidos, carburos, nitruros o boruros cerámicos añadidos.

5 13. El elemento de sierra de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, en el que dicho elemento de sierra es una perla de sierra que comprende un manguito metálico como sustrato metálico sobre el que se deposita dicha capa abrasiva.

10 14. Un cable de sierra que comprende un cable de acero con perlas de sierra enhebradas en el mismo, caracterizado por que dichas perlas de sierra son elementos de sierra de acuerdo con la reivindicación 13.

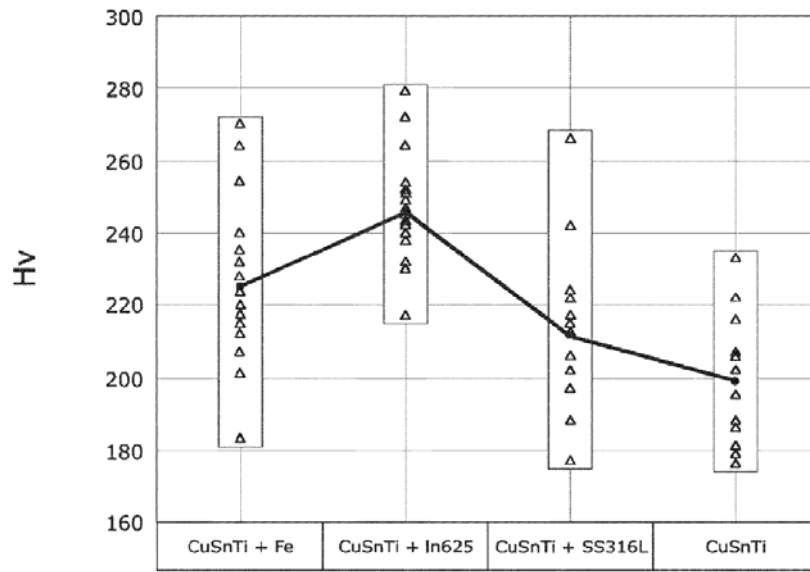


Fig. 1

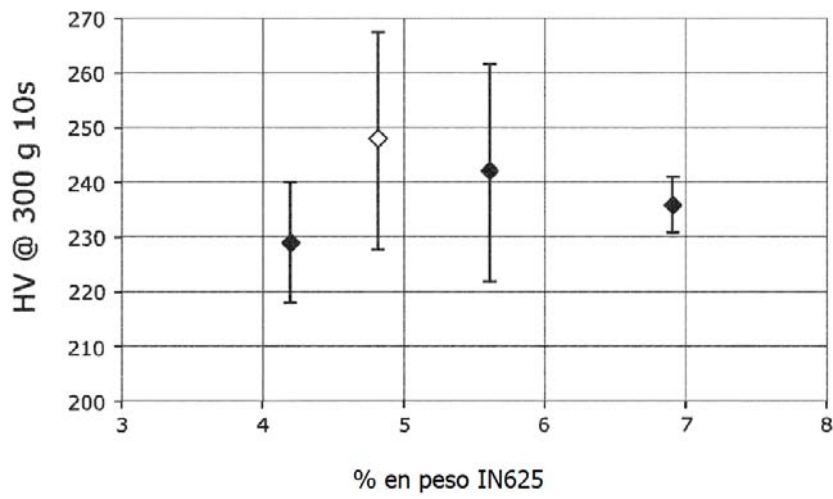


Fig. 2