

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 734 025**

51 Int. Cl.:

B23D 61/18 (2006.01)

B23D 65/00 (2006.01)

B28D 1/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.04.2014 PCT/EP2014/056572**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.10.2014 WO14166786**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.04.2014 E 14714998 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.06.2019 EP 2983855**

54 Título: **Perlas de aserrado y método para fabricarlas**

30 Prioridad:

10.04.2013 EP 13163022

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

03.12.2019

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**VANEECKE, JAN;
BAEKELANDT, TOM y
GROENEN, ROLAND**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 734 025 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

Perlas de aserrado y método para fabricarlas

5 Campo técnico

La invención se refiere a la fabricación de un perlas de aserrado para uso en un cable de aserrado para aserrar rocas o materiales naturales o artificiales, y en particular a un método de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1. Además, la invención se refiere a las perlas de aserrado obtenidas de este modo de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 8 y al cable de aserrado equipado con dichas perlas.

Antecedentes de la técnica

15 Dicho método y dichas perlas de aserrado se conocen del documento WO2012/119946A1. Los cables de aserrado se utilizan cada vez más para cortar bloques de roca en losas para uso arquitectónico o de interior de la casa. Los tipos de material aserrado han aumentado constantemente desde las rocas metamórficas más blandas, como el mármol, hasta las rocas ígneas extremadamente duras, como el granito (en todos sus matices de dureza y origen). En una máquina de aserrado que utiliza un cable de aserrado, el cable se tensa entre al menos dos poleas, de las cuales al menos una se mueve mientras el cable se empuja a través de una roca. El "cordón de aserrado" o "cordón de sierra" se usa muchas veces como un término alternativo para "cable de aserrado", pero en la presente solicitud se prefiere este último, ya que distingue el producto de otras herramientas de aserrado que se basan en un solo filamento. Se sabe que un cable es multifilamentoso.

25 Si bien inicialmente se utilizaron bucles individuales de cable de aserrado para extraer bloques de las canteras, actualmente se han diseñado máquinas de desbastes de múltiples bucles que tienen hasta 80 bucles individuales. Dichos bucles tienen una longitud de 15 a 30 metros de longitud y llevan entre 35 y 40 perlas por metro, por lo que hay entre 525 y 1200 cuentas por bucle. Actualmente, estas perlas se fabrican a través de una ruta de pulvimetalurgia (ya descrita en el documento US 2.679.839 presentado en 1952).

30 En este proceso, un elemento abrasivo anular está hecho de grano de diamante que se mezcla completamente con polvo metálico y una cera orgánica opcional para formar una pasta. La mezcla de polvo metálico normalmente contiene componentes de alta temperatura de fusión tales como cobalto, wolframio, hierro, níquel a veces en combinación con componentes de baja temperatura de fusión tales como cobre, estaño, plata para mejorar la consolidación. Posiblemente se pueden añadir elementos o compuestos tales como tungsteno, fósforo o carburo de tungsteno para que influyan en la dureza y en el desgaste de la perla. La mezcla se lleva a un molde. Esta preforma se sinteriza en una perla de alta densidad mediante la aplicación de temperatura y posiblemente presión (presionando el pistón en el molde o aplicando presión isostática a través de inmersión en un fluido altamente presurizado). Se aplican gases adecuados para evitar que el polvo se oxide durante la sinterización.

40 Los productores mantendrán la combinación de tiempo y temperatura por debajo de ciertos límites para evitar daños a las partículas de diamante. El diamante tiende a grafitar (convertirse en grafito) cuando se expone a una temperatura superior a unos 700 °C en aire y por encima de 1200 °C en un gas inerte o en el vacío. Esta grafitación comienza desde el exterior del diamante y produce un diamante ennegrecido, no transparente. La metalografía resultante del polvo de metal sinterizado muestra una amalgama de regiones globulares mantenidas juntas con aleaciones de bajo punto de fusión.

50 Después de la sinterización, el elemento abrasivo anular se monta en un manguito metálico mediante una soldadura que forma una perla de aserrado. En el caso de prensado isostático con calor, los elementos abrasivos anulares están directamente unidos al manguito y no se necesita una soldadura fuerte. Las perlas se enroscan en un cable de acero y, posteriormente, el polímero se moldea por inyección entre las perlas para mantenerlas en posición y proteger al cable de acero del ambiente.

Los cables de aserrado se han estandarizado alrededor de dos tamaños:

- 55 • Para la explotación de canteras y para trabajos pesados, se utilizan perlas con un diámetro externo inicial de 9 a 11 mm. El cable de acero tiene un diámetro de 4,95 mm. Los manguitos tienen una longitud de 11 mm y un diámetro externo de 7 mm.
- 60 • Para las máquinas de desbaste es estándar un tamaño inicial de perla externa de 7,2 mm. El cable de acero tiene un diámetro de 3,5 ~ 3,6 mm. El diámetro externo del manguito es de 5,0 mm y tiene una longitud de 11 mm. El punto de referencia actual para el desbaste es que se puedan cortar al menos 10 metros cuadrados de material por metro de cable de aserrado en un tipo de granito de Clase A.

65 Hay una tendencia hacia tamaños aún más pequeños: se están considerando diámetros externos de perlas de 3,0, o incluso de 2,5 mm. Los tamaños de perlas más pequeños llevan a más losas de un bloque por corte ya que se pierde menos material. Otra tendencia es tener más perlas, pero más pequeñas por metro de cable de aserrado. Tener más perlas lleva a una mejor distribución de la fuerza sobre el cable, a una mejor evacuación de las limaduras y a una

mayor duración de la vida del cable de aserrado.

Recientemente, se están explorando nuevas formas de producir perlas mediante el recubrimiento láser (*laser cladding* en inglés). En el documento WO 2002/06553 A2 se publicó una primera sugerencia para hacer perlas de aserrado mediante recubrimiento láser. Allí se describe la idea genérica de usar una pistola de recubrimiento láser para producir perlas de aserrado, pero la divulgación no da instrucciones sobre qué materiales usar y los detalles más precisos del proceso y las propiedades de las perlas obtenidas. Además, la capa abrasiva se produce en una barra sólida que, además, debe girarse y perforarse en un torno para obtener la perla final, lo que lleva a un mayor costo y manejo.

Resulta difícil producir directamente una capa abrasiva en un pequeño manguito de metal con una masa que no está por encima de 1 gramo. En las publicaciones recientes WO 2012/119946 y WO 2012/119947, los inventores actuales han intentado formas de superar los problemas de calentamiento asociados con tal deposición y han descubierto propiedades beneficiosas de la perla resultante de las mismas. Uno de los principales problemas que uno encuentra es el balance de calor durante la deposición de la capa abrasiva en un manguito sin disipador de calor. Si el calor es demasiado alto, el manguito se funde y/o los diamantes se dañan. Si la entrada es demasiado baja, el recubrimiento es poroso y/o el proceso no es económico.

Generalmente, el recubrimiento láser con recubrimientos que contienen diamante se aplica sobre sustratos con un gran disipador de calor: sustratos masivos tales como rotores de bomba, hélices de turbina,... que pesan varios kilos en los que el exceso de calor se drena fácilmente hacia el interior del sustrato. Por ejemplo, en el documento US 2008/0131620 se describe un proceso para aplicar un revestimiento resistente al desgaste a un artículo de fabricación en el que la temperatura se mantiene entre 400 °C y 900 °C combinado con un enfriamiento rápido del proceso con el objetivo explícito de evitar la descomposición del diamante.

Al contrario de un recubrimiento resistente al desgaste, la capa abrasiva de una perla de aserrado debe desgastarse al mismo ritmo que se desgastan los diamantes en el proceso de aserrado. Si la matriz se desgasta demasiado rápido, las partículas abrasivas se desprenderán cuando no se utilicen al máximo para el fallo prematuro de la herramienta. Por el contrario, si la matriz es demasiado resistente al desgaste, las partículas abrasivas no sobresaldrán lo suficiente para serrar, lo que da como resultado un corte demasiado lento.

A continuación, se revelan los procesos mejorados para hacer perlas de aserrado junto con las propiedades de las perlas de aserrado resultantes de los mismos y el cable de aserrado hecho con ellas.

Divulgación de la invención

El objetivo principal de la invención es mejorar la técnica existente en la fabricación de perlas de aserrado, más particularmente, las perlas de aserrado con recubrimiento láser en las que se persigue un óptimo en la velocidad de recubrimiento láser a baja degradación del diamante. Por lo tanto, un objeto de la invención es definir una ventana de proceso en la que se puedan hacer perlas de buen rendimiento sin comprometer la economía del proceso. Se definen más perlas de aserrado que pueden mostrar algún daño de diamante pero no lo suficiente como para afectar negativamente al rendimiento. Otro objetivo de la presente invención es proporcionar un cable de aserrado, que comprende perlas fabricadas por recubrimiento láser que son tan buenas o mejores en rendimiento de aserrado como las perlas obtenidas por la ruta de pulvimetalurgia.

De acuerdo con un primer aspecto de la invención, se presenta un método para producir perlas de aserrado según las características de la reivindicación 1. El cable de aserrado comprende un manguito metálico y una capa abrasiva unida directamente al manguito metálico. La capa abrasiva comprende partículas de diamante incrustadas en un material de matriz metálica. El método comprende las siguientes etapas:

- proporcionar un manguito de metal que está hecho para girar axialmente;
- proporcionar un suministro de material de matriz metálica en forma de polvo transportado en un flujo de gas;
- proporcionar un suministro de partículas de diamante;
- encender una fuente de energía en forma de un rayo láser;

en donde el rayo láser derrite el material de matriz de metal en polvo en el manguito de metal, es decir, la temperatura del polvo del material de matriz de metal debe estar por encima de su temperatura líquida. De este modo, se forma una agrupación de metal fundido en la que se lanzan las partículas de diamante.

Una característica del método es que la temperatura de la agrupación de metal fundido se mantiene a 1150 °C o más durante menos de 200 ms. Esto es para reducir, para disminuir o para limitar la grafitación interna de dichas partículas de diamante. No se evita la aparición de grafitación interna. El hecho de que se produzca una grafitación interna del diamante, incluso puede resultar beneficioso para el rendimiento de corte de la perla.

Además, la temperatura de 1150 °C de la agrupación de metal fundido debe alcanzarse durante al menos algún tiempo, por ejemplo, durante 10 ms o incluso 20 ms para alcanzar la consolidación completa de la capa abrasiva y formar una capa de aleación entre la capa abrasiva y el manguito de metal.

La temperatura de la agrupación de metal fundido puede incluso alcanzar temperaturas de 1200 °C durante menos de

100 ms pero más de 5 o incluso 10 ms. En el límite, La temperatura de la agrupación de metal fundido puede alcanzar temperaturas de 1250 °C durante menos de 50 ms pero más de 5 ms. Por encima de los 1300 °C, la grafitación interna del diamante ocurre instantáneamente y los diamantes se degradan demasiado.

5 Como manguito de metal se puede usar cualquier tipo de tubo corto de metal que se ajuste alrededor del cable de acero. Dado el tamaño de la perla terminada, las dimensiones del manguito son mínimas: el grosor de la pared es inferior a 1 mm y la longitud es inferior a 11 mm, con un diámetro externo inferior a 7 mm. El manguito tiene una masa de menos de 1 gramo. El material utilizado para el manguito tiene una temperatura solidus superior o igual a la temperatura liquidus del material de matriz metálica, ya que de lo contrario el manguito comenzaría a fundirse cuando se deposita el material de matriz metálica.

15 La temperatura solidus es la temperatura a la cual un metal o aleación de metal se vuelve completamente sólido cuando se enfría de la masa fundida en equilibrio térmico. La temperatura liquidus es la temperatura a la cual un metal o aleación de metal se vuelve completamente líquido cuando se calienta del sólido en equilibrio térmico.

Los tipos de manguitos preferidos son de acero por su resistencia a la fuerza y a la temperatura. Una composición preferida es de acero que comprende hasta el 0,8 % en peso de carbono, menos del 0,5 % en peso de silicio y uno o más de los metales del grupo que comprende níquel, manganeso, molibdeno, cromo, cobre, siendo el resto hierro.

20 Posiblemente los manguitos se pueden hacer como dos mitades soldadas entre sí alrededor del cable de acero como se propone en el documento WO 2011/061166 A1 del solicitante actual (más en particular los párrafos [0016] a [0018]).

25 Particularmente preferidos son los manguitos hechos por moldeo por inyección de metal como se describe en el documento WO2014/082870 del solicitante actual. Dicho proceso permite un gran grado de libertad para dar forma a la parte interna del manguito. Además, dicho manguito muestra una rugosidad superficial favorable para un fácil acoplamiento de la luz láser en el material del manguito.

Las composiciones preferidas para el moldeo por inyección de metal de manguitos metálicos son:

- 30 • Acero de níquel-hierro (menos del 0,2 % en peso de C; del 1,9 al 8,0 % en peso de Ni; siendo el resto hierro),
- aceros inoxidables tales como 316L austenítico (C ≤ 0,03 % en peso; 16 al 18 % en peso de Cr; 10-14 % en peso de Ni; Mn ≤ 2 %; 2-3 % en peso de Mo; Si ≤ 1 % en peso; siendo el resto hierro),
- 35 • Aceros endurecibles por precipitación 17-4PH (C ≤ 0,07 % en peso; 15-17,5 % en peso de Cr; 3-5 % en peso de Ni; 3-5 % en peso de Cu; 0,15 - 0,45 % en peso de Nb; Mn ≤ 1 % en peso, Si ≤ 1 15 % en peso; siendo el resto de hierro).
- 304L (C ≤ 0,08 % en peso; 18-20 % en peso de Cr; 8-10,5 % en peso de Ni; siendo el resto hierro).

40 Hay muchas aleaciones conocidas de materiales de matriz metálica que son adecuados para el recubrimiento láser. Dadas las restricciones impuestas por las partículas abrasivas, se prefieren las aleaciones con temperaturas liquidus entre 400 °C y 1100 °C. Estas aleaciones comprenden plata, cobre, níquel o cobalto como principal elemento de la aleación. Además, se pueden añadir elementos reductores de la temperatura de fusión, como el estaño, zinc, o incluso indio. En el caso del níquel, se pueden usar elementos no metálicos como el fósforo, el silicio o el boro para reducir la temperatura liquidus.

45 Particularmente preferidas son las soldaduras (cobre y zinc como elementos principales) y los bronce (cobre y estaño como elementos principales), siendo estos últimos los más preferidos. Otras aleaciones preferidas son a base de níquel, tales como Ni-Cr-P, Ni-Cr-Fe-Si-B o Ni-Cr-Si-Mn. Estas aleaciones proporcionan un buen equilibrio entre el uso abrasivo y el desgaste de la matriz. Si la matriz se desgasta demasiado rápido, las partículas abrasivas se desplazarán cuando no se utilicen al máximo para un desgaste prematuro de la herramienta. Por el contrario, si la matriz es demasiado resistente al desgaste, las partículas abrasivas no sobresaldrán lo suficiente para cortar, lo que da como resultado velocidades de aserrado demasiado bajas.

50 Las más preferidas son las aleaciones que contienen un metal activo adicional como cromo, titanio, vanadio, wolframio, circonio, niobio, molibdeno, tantalio, hafnio o combinaciones de los mismos. Los más preferidos son cromo, circonio, vanadio o titanio, siendo este último el más preferido, ya que tiene el punto de fusión más bajo. Estos metales son activos de dos maneras:

- 55 • Se sabe que mejoran la humectación de las partículas abrasivas durante la deposición y;
- Son formadores de carburo que funcionan bien en combinación con abrasivos que contienen carbono.

60 Cuando no hay metal activo en el material de la matriz metálica, las partículas abrasivas no se humedecerán fácilmente en el metal fundido. Esto incluso conduce al "rebote" de las partículas abrasivas en el menisco de la agrupación de metal fundido cuando están introduciéndose en la agrupación de metal.

65 Los bronce más preferidos contienen entre el 5 y el 30 % en peso de Sn, entre el 0,5 y el 15 % en peso de Ti, siendo el resto cobre. Los mejores resultados se obtuvieron con bronce que tenían entre el 10 y el 20 % en peso de Sn y

entre el 2 y el 10 % en peso de Ti, siendo el resto cobre. Un ejemplo es una aleación que contiene el 13 % de Sn, el 9 % Ti, siendo el resto cobre, todo expresado en porcentaje en peso del total. Dicha aleación está completamente fundida (liquidus) a aproximadamente 972 a 974 °C.

5 Una observación adicional es que la entalpía de fusión por unidad de masa, es decir, la cantidad de calor necesaria para fundir un gramo de un polvo metálico de completamente sólido a todo líquido depende del tamaño de las partículas de polvo: cuanto menor sea el tamaño de las partículas, se necesitará menos energía para fundirlos. Por lo tanto, se prefiere polvo metálico con partículas con un tamaño de menos de 100 µm, o aún mejor, con un tamaño inferior a 75 o inferior a 50 µm o 20 µm.

10 El límite inferior se establece por la fluidez del polvo que depende de las propiedades específicas del polvo, como la morfología, la humedad, el tamaño y otras propiedades. Los polvos demasiado finos son difíciles de introducir en un flujo de gas a una velocidad constante. Por lo tanto, el polvo de matriz metálica no debe tener un tamaño inferior a 5 µm. Como gas portador, se usa preferentemente un gas no oxidante o un gas inerte tal como argón.

15 Posiblemente se pueden agregar materiales de relleno al material de matriz metálica para ajustar el desgaste del material de matriz metálica. Los materiales de relleno populares son las cerámicas duras como carburo de tungsteno, carburo de silicio, óxido de aluminio y óxido de circonio. La adición de los rellenos mencionados anteriormente dará como resultado un material de matriz metálica más resistente al desgaste y permitirá sincronizar el desgaste de las partículas abrasivas con el del material de matriz metálica.

20 Las partículas abrasivas consideradas para el fin de la presente solicitud son partículas de diamante. Las partículas de diamante se humedecen fácilmente con todos los metales activos mencionados. Las partículas de diamante (es decir, carbono casi puro) son de origen artificial o natural. Los diamantes artificiales son rentables, pero se sabe que resisten menos a temperaturas más altas: comenzarán a degradarse externamente, es decir, se forma un revestimiento negro, a temperaturas superiores a unos 700 °C cuando se encuentran en atmósfera de aire y se grafitan, es decir, pasan de diamante (enlace sp^3) a grafito (enlace sp^2) por encima de aproximadamente 1150 °C cuando está al vacío o bajo atmósfera inerte. Los diamantes naturales pueden soportar temperaturas más altas hasta aproximadamente 1300 °C al vacío o en atmósfera inerte sin grafitación. Sin embargo, el grano de diamante natural es costoso y, por lo tanto, se excluye para hacer perlas de aserrado según la invención.

25 En general, en el método se pueden usar partículas con un tamaño entre 100 µm y 600 µm. Más preferido es entre 200 a 600 µm o de 300 a 500 µm. Las partículas para el corte de roca son preferentemente de grano grande, es decir, con tamaños de grano de intervalo amplio con un tamaño de US Mesh de 30/40, un tamaño de Mesh de 40/50 o un tamaño de Mesh de 50/60 (los tamaños de Mesh son de acuerdo con la norma de EE.UU. ASTM E 11, cuanto más altos son los números, menor es el tamaño de las partículas). El más preferido para las perlas de aserrado es el tamaño de mesh de 40/50. Un tamiz de 40 mesh tiene aberturas cuadradas de 420 µm de lado por donde pasan partículas de menor tamaño. Parte de esas partículas más pequeñas se mantendrán en el tamiz de 50 mesh 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 tamaño de grano según la FEPA (Federación de Productores Europeos de Abrasivos) que asigna un tamaño medio para cada tamaño de mesh.

30 Típicamente, están presentes entre 20 y 100 mg de partículas de diamante por perla. En la mayoría de las aplicaciones, será suficiente entre 30 y 70 mg o incluso entre 30 y 50 mg de partículas de diamante.

35 Los diamantes artificiales de este tamaño generalmente se fabrican mediante síntesis de alta presión y alta temperatura (HPHT) donde una mezcla de grafito y un catalizador de metal (opcionalmente con pequeñas semillas de diamante) se presionan en un recipiente cerámico por encima de 4,9 GPa y se mantiene a una temperatura superior a 1300 °C. A esta temperatura y presión, el grafito se disuelve en el metal y el carbono se recristaliza como diamante. El catalizador contiene metales como Fe, Ni, Co o Mn y los restos de esos metales se encuentran en el núcleo del cristal crecido. El tamaño y la forma de las partículas de diamante se pueden modular ajustando las tasas de crecimiento del grano que dependen de la presión y la temperatura. Las altas tasas de crecimiento llevarán a pequeños diamantes.

40 El tamaño de los diamantes es particularmente importante ya que es una observación de los inventores que los diamantes de mayor tamaño (más de 100 µm son más vulnerables a la grafitación interna que los diamantes de menor tamaño. Con grafitación interna se entiende que el resto de catalizador en el núcleo del diamante promoverá la reacción inversa de los diamantes hacia el grafito (de sp^3 a sp^2). Esto, a diferencia de la grafitación externa, en donde la formación de grafito comienza desde el exterior hacia adentro. Tal grafitación interna es visible en la partícula de diamante por la formación de un pequeño punto negro en el centro del grano por lo demás claro.

45 La vulnerabilidad para la grafitación interna también está determinada por la cantidad de catalizador restante: cuanto más catalizador queda, más vulnerable es el diamante para la grafitación interna. La cantidad de catalizador puede determinarse por XRFS en el propio grano de diamante o por ICP después de incinerar el grano o por medio de la determinación de la susceptibilidad magnética de la masa del diamante. Los límites particulares son que:

- En caso de medición por XRF o ICP: la suma masiva de Fe, Ni, Co, Mn y Cr es inferior a 20 mg, o preferentemente inferior a 10 mg o incluso inferior a 7 mg por gramo de diamante o;
- En caso de medición de la susceptibilidad magnética de la masa, la susceptibilidad debe ser inferior a $300,10^{-8}$ m³/kg, preferentemente menos de $150,10^{-8}$ m³/kg o incluso por debajo de $100,10^{-8}$ m³/kg.

5 Los diamantes con un contenido de catalizador demasiado alto presentarán una grafitación interna a una temperatura más baja.

10 El suministro de partículas de diamante puede seguir el mismo canal de alimentación que el suministro de material de matriz metálica. Como alternativa, el suministro de diamantes puede seguir un canal de suministro separado posiblemente soportado por medio de un flujo de gas o como alternativa por conducción. La secuencia de suministro de diamantes es preferiblemente controlable por separado del suministro de material de matriz metálica. De esta manera, inicialmente se puede suministrar material de matriz metálica sin diamantes, mientras que los diamantes se pueden introducir una vez que se formó la agrupación de metal fundido.

15 La fuente de energía para fundir el material de la matriz es un láser de alta intensidad capaz de suministrar haces de al menos 100 W, 1 kW o más de energía continua o pulsada, preferentemente emitiendo en la región infrarroja del espectro. Son especialmente adecuados los láseres de Nd: YAG (granate de itrio-aluminio dopado con neodimio) bombeados por lámparas de destello o láseres de estado sólido o láseres de gas de CO₂. La luz láser se guía a través de guías de onda y ópticas adecuadas para tener un punto focal que se puede ajustar cerca de la superficie del sustrato.

20 Independiente de los materiales de matriz metálica implicados, La temperatura de la agrupación de metal fundido debe mantenerse al menos por encima de la temperatura liquidus del material de matriz metálica. Aunque la deposición por láser es posible por debajo de la temperatura liquidus del material de matriz metálica, el recubrimiento resultante no es satisfactorio ya que no alcanza la consolidación completa.

25 Una vez que el metal está completamente fundido, en principio, la temperatura puede subir aún más hasta la temperatura de evaporación del metal fundido. Por lo tanto, se prefiere que la agrupación de metal fundido se mantenga a una temperatura por encima de la temperatura liquidus, T_L, del material de matriz metálica, preferiblemente por encima de T_L+50 °C o incluso por encima de T_L+100 °C.

30 Sin embargo, temperaturas demasiado altas dañarán las partículas de diamante, particularmente si son artificiales, particularmente si están por encima de unos 100 μm, y particularmente si contienen restos de catalizador demasiado altos. Un logro particular de los inventores es que han demostrado que se puede hacer un cable de aserrado con buen rendimiento se con temperaturas en la agrupación de metales por encima del límite de daño generalmente aceptado de 1150 °C para diamantes de gran tamaño (de más de 100 μm).

35 Como la temperatura de la agrupación de metal fundido debe estar dentro de las especificaciones estrictas, una realización preferida de la invención es que la temperatura de la agrupación de metal fundido se controla ajustando la potencia del láser que incide sobre la agrupación de metal fundido. Preferentemente, esto se hace controlando el área de superficie de la agrupación de metal fundido. El área de superficie de las agrupaciones de metal fundido es una indicación del balance de calor en la agrupación de metal fundido:

45
$$P_{\text{láser}} C \times \dot{m} + \dot{Q}$$

En donde:

50 *P_{láser}* es la potencia del láser en vatios inyectada en la agrupación de metal fundido;
ṁ es igual al flujo de masa por minuto (en gramos por segundo) arrojado a la agrupación de metal fundido. El suministro de polvo metálico enfría la agrupación de metal;
Q̇ es la pérdida total de calor (en vatios) al medio ambiente: pérdidas conductivas para el manguito, pérdidas por radiación hacia el entorno, la pérdida de calor debida a la eliminación del material caliente del punto láser (el manguito gira), el calor absorbido por las partículas de diamante; *C* es una variable (en julios por gramo) que
55 depende del material en polvo: el calor que toma para que el polvo alcance la temperatura de fusión, el calor de la fusión y el aumento adicional de la temperatura antes de que el material salga de la agrupación de metal fundido.

60 Si el área de superficie de la agrupación de metal crece durante la deposición, esto significa que se inyecta demasiada potencia láser en el sistema. Si el área de superficie de la agrupación de metal fundido disminuye durante la deposición, se pierde demasiado calor hacia el ambiente. El área de superficie de la agrupación de metal fundido es, por lo tanto, una medida ideal para el balance de calor en la deposición y una medida para el cambio de temperatura durante la deposición.

65 En una primera realización preferida, la potencia del láser se ajusta de acuerdo con un perfil fijo. Por ejemplo, al inicio de la deposición, el láser se enciende a la máxima potencia para calentar el manguito de metal y para formar la agrupación inicial de metal fundido. Tan pronto como se forma la agrupación, que está dentro de milisegundos, la

potencia del láser se reduce para mantener constante el tamaño de la agrupación de metal fundido.

En una realización preferida adicional, el tamaño de la agrupación de metal fundido se mide por medio de una cámara de infrarrojos de alta velocidad cuya señal se convierte a una temperatura. Esta señal se utiliza para dirigir la potencia de salida del láser. Con alta velocidad se entiende: más de 100 Hz, preferentemente por encima de 200 Hz. Si la velocidad de muestreo cae por debajo de 100 Hz, la temperatura se mide demasiado tarde y la retroalimentación al láser se retrasa con la temperatura real en el punto del láser. Debido a que el láser puede comenzar a oscilar y la perla se vuelve de mala calidad.

La experiencia de los inventores es que el ajuste a la potencia del láser es mínimo cuando la secuencia de iluminación del láser y la entrada del polvo están bien sincronizadas al colocar el punto del láser en relación con la entrada del polvo de una manera óptima. Esto se logra distribuyendo ópticamente el rayo láser que irradia el manguito de metal o la superficie de la perla ya formada en un primer punto de área sustancialmente alargada (por ejemplo, elipsoidal o rectangular) que se extiende alrededor de la longitud axial del manguito de metal o la superficie de la perla ya formada. El suministro de material de matriz metálica llega a la superficie del manguito metálico o a la superficie de la perla ya formada en una segunda área sustancialmente alargada, que también abarca la longitud del manguito metálico pero que tiene un área que es más pequeña que dicha primera área. Preferentemente, el suministro de polvo de matriz metálica y diamantes se enfoca en la agrupación de metal fundido para evitar el derrame de las partículas de diamante.

Los inventores han descubierto que se pueden lograr mejores eficiencias cuando la línea central axial de la segunda área alargada está ligeramente desviada con respecto a la línea central axial de dicha primera área alargada, en el que el desplazamiento está en la dirección de rotación del manguito de metal o de la perla ya formada. Por lo tanto, el foco del rayo láser no coincide con el foco del suministro de material de la matriz. Sin embargo, la segunda área alargada debe permanecer dentro de la primera área alargada ya que, de lo contrario, esto lleva a una pérdida en la eficiencia del recubrimiento.

El intervalo de tiempo en el que la agrupación de metal fundido alcanza una temperatura de o superior a 1150 °C puede establecerse seleccionando la velocidad relativa entre el rayo láser y la circunferencia de la perla. Esta velocidad circunferencial relativa está entre 5 y 500 mm/s, más preferentemente entre 10 a 250 mm/s o incluso mejor entre 20 a 100 mm/s. Preferentemente, esta velocidad circunferencial se mantiene constante durante la formación completa de la perla.

También es importante que la agrupación de metal fundido se enfríe activamente por debajo de la temperatura solidus del material de metal fundido dentro de una vuelta de la perla o incluso mejor dentro de media vuelta. Si la agrupación de metal no se enfría lo suficiente dentro de una vuelta de la cuenta, la temperatura aumentará en cada vuelta, lo que lleva a la fuga térmica. El enfriamiento del manguito de metal y la superficie de la perla ya formada se puede hacer por medio de un flujo de fluido (gas como aire o argón o líquido como agua) a través del centro de la perla o por medio de un sólido (por ejemplo, una barra que lleva el manguito de metal o un cable de acero) insertado a través del centro de la perla.

De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, se proporciona una perla de aserrado definida por las características de la reivindicación 8.

Las partículas de diamante se pueden extraer de la matriz metálica disolviendo el metal de la matriz en un ácido adecuado (por ejemplo, Aqua Regia, una mezcla de ácido nítrico y ácido clorhídrico). Este procedimiento ocurre a temperatura ambiente y no afecta a los diamantes de ninguna manera.

Para valorar la presencia de grafitación interna, se toma una muestra aleatoria de al menos 100 diamantes extraídos de la perla de diamante. Con 'muestra aleatoria' se entiende que no se ha realizado una preselección de los diamantes en términos de tamaño, forma, peso, aspecto visual o cualquier otra característica. Posiblemente todos los diamantes se pueden recuperar de la perla, pero el análisis completo de todos los diamantes puede ser tedioso y superfluo.

Con 'grafitación interna' y según la invención, se refiere a que debajo de un solo binocular, los diamantes mostrarán un punto negro interno distintivo en aproximadamente el núcleo del diamante transparente. Cuando el tamaño de dicho punto es apenas visible pero ocupa menos del 10 % del área del diamante en el campo de observación, el diamante se marca como "grafitación interna ligera (IGL)". Cuando la mancha es más grande pero el diamante permanece transparente, se marca como "grafitación interna severa (IGS)". Cuando el diamante ya no es transparente y la superficie está ennegrecida, se marca como "degradado térmicamente externo (BL)", pero no se considera como "grafitado internamente" (porque el interior no es visible). Cuando el diamante permanece transparente y no muestra un punto interno, se marca como "no afectado (UA)".

Los diamantes recuperados a partir de perlas de diamante obtenidas por la ruta de la pulvimetalurgia "no están afectados (UA)" o están completamente cubiertos con un metal activo, en cuyo caso no es posible discernir la grafitación interna (que se catalogaría como "BL").

Para los fines de la presente solicitud, con "algunos de los diamantes" se entiende al menos 2 de los al menos cien

en la muestra aleatoria. En la mayoría de los casos, al menos 5 de los cien o más en la muestra aleatoria presentarán "grafitación interna".

5 La deposición de la capa abrasiva es preferiblemente mediante recubrimiento láser. Aún más preferido es si la capa abrasiva se deposita de acuerdo con cualquiera de los métodos descritos en las reivindicaciones del proceso.

10 Más preferido es si algunas, pero no más del 60% de las partículas de diamante en la muestra aleatoria presentan grafitación interna. Aún más preferido es si algunos, pero no más del 40 % de los diamantes en la muestra presentan grafitación interna. En ciertos casos - alta calidad de diamante, diamantes de menor tamaño, control de temperatura perfecto - el número de diamantes que presentan grafitación interna será inferior al 20 %.

De acuerdo con la invención, el número de diamantes con "degradación térmica externa" se mantiene en menos del 10 % de los diamantes en la muestra aleatoria, o incluso en menos del 5 %.

15 Sorprendentemente para los inventores, una perla de aserrado puede tener una fracción de diamantes grafitados internamente sin afectar seriamente el rendimiento. Esto va en contra de la creencia general en el campo de que el daño del diamante debe evitarse a toda costa. De hecho, la presencia de grafitación interna puede hacer que la partícula de diamante sea algo más vulnerable a la trituración, pero la trituración todavía se prefiere a los diamantes que se extraen. Los diamantes triturados aún aumentan la resistencia al desgaste de la perla, mientras que los diamantes extraídos ya no sierran. Por supuesto, esta fracción no puede ser demasiado grande ya que, de lo contrario, la capacidad de aserrado de los diamantes se ve seriamente disminuida.

25 Según un tercer aspecto de la invención, se define un cable de aserrado según la reivindicación 13. El cable de aserrado comprende un cable de acero y perlas de aserrado enroscadas en el mismo en el que las perlas de aserrado están separadas por un manguito de polímero. El manguito de polímero se moldea por inyección entre las perlas. Las cuentas están hechas por un proceso de recubrimiento láser. Preferiblemente, un proceso de recubrimiento láser como se reivindica en las reivindicaciones del método. El cable de aserrado puede cortar al menos 10 metros cuadrados de granito de clase A por metro de cable de aserrado. Este es el rendimiento que se espera hoy en día de un cable de aserrado basado en la ruta de pulvimetalurgia. Los inventores demuestran en los ejemplos siguientes que se puede

30 serrar 12 metros cuadrados de granito de clase A por metro del cable de aserrado de la invención.

Breve descripción de las figuras en los dibujos

35 Las Figuras 1a a 1d ilustran el fenómeno de la grafitación interna y la degradación térmica externa.
La Figura 2 describe un ciclo típico de láser para recubrir un manguito metálico con una capa abrasiva.
La Figura 3 ilustra la posición relativa óptima de la primera y la segunda área alargada en el manguito de metal.
La Figura 4 demuestra el efecto de la temperatura de la agrupación de metal fundido sobre el fenómeno de la grafitación interna y la degradación térmica externa.
La Figura 5 clasifica los diferentes estados que puede tener una partícula de diamante durante el uso del cable de aserrado.
40 La Figura 6 ilustra la influencia de las condiciones del recubrimiento láser en el comportamiento de desgaste de las partículas de diamante en el cable de aserrado.

Modo(s) de llevar a cabo la invención

45 En una serie de experimentos, se hicieron perlas recubiertas con láser en manguitos cilíndricos de acero suave de 11 mm de longitud, con un diámetro externo de 5,00 mm y un espesor de pared de 0,575 mm.

Se utilizó el siguiente tipo de equipo:

50 Sistema de recubrimiento láser

- Láser diodo 'Laserline LDF 3 kW' funcionando a 1900 W en modo continuo a longitudes de onda de 808 y 940 μm .
- 55 • Un canal de entrada lateral para la entrada de polvo de matriz metálica y diamante, siendo el diamante controlable por separado del flujo de polvo de matriz metálica;

Equipos de manipulación de polvo:

60

- Tolva de polvo Sulzer Metco Twin
- Suministro de gas: argón.
- Tanto el material de matriz metálica como las partículas de diamante se introdujeron a través del mismo flujo de gas argón.

65 Como polvo de material de matriz metálica se usó el obtenido de Phoenix Scientific Industries Ltd. de composición Cu - Sn (13 % en peso) - Ti (9 % en peso). El análisis calorimétrico de barrido diferencial reveló que las transiciones de

fase sólido-sólido comienzan a ocurrir a aproximadamente a 765 °C y que el polvo se convierte completamente en líquido (temperatura liquidus) a 972 °C. El polvo se separó en tres fracciones: uno con un tamaño por debajo de 20 µm, uno con un tamaño de entre 20 y 45 µm y otro con un tamaño superior a 45 µm. El calor latente (de 765 ° a 972 °C) para que los polvos se fundiesen difirió: 40,5 J/g para la fracción por debajo de 20 µm, 60,0 J/g para la fracción entre 20-45 µm y 73,8 J/g para la fracción superior a 45 µm. El tamaño del polvo metálico tiene un efecto en la capacidad de enfriamiento del polvo: las partículas más pequeñas tienen menos poder de enfriamiento que los tamaños de partículas más grandes.

Las partículas de diamante utilizadas se tamizaron a 40/50 mesh con un tamaño medio de 415 µm. La suma de las masas de Fe, Ni, Co, Mn y Cr, medidos por XRFs, fue de 6 mg por gramo de diamante. Se añadió una carga adicional de carburo de tungsteno al flujo del material de la matriz para aumentar la tenacidad de la capa abrasiva.

El método para producir la perla de aserrado comienza girando el manguito a 200 rpm. Esto se corresponde con una velocidad circunferencial relativa entre el manguito y el rayo láser de 52,4 mm/s. Esta velocidad entre la perla y el rayo láser se mantuvo constante durante la deposición. El láser se enciende y después de una rotación, se activa el suministro de material de matriz metálica en un flujo de argón (esto se puede realizar, por ejemplo, moviendo el canal de suministro sobre la superficie del manguito). También las partículas de diamante y las partículas de relleno de carburo de tungsteno siguen el mismo flujo.

La posición relativa del punto láser y la introducción del polvo se explica en la Figura 3. El punto láser se amplió con ópticas adecuadas a un rectángulo aproximado de 8 mm en dirección axial por 3 mm en dirección circunferencial del manguito 310: la primera área alargada 314. El tiempo de exposición del manguito al rayo láser es de 57,3 ms. La introducción del polvo también superó sustancialmente la anchura completa del manguito 310, pero se hizo muy estrecha: 8 mm en dirección axial por 2 mm en dirección circunferencial: la segunda zona alargada 312. La posición en la que el eje largo de la primera y la segunda área alargada se unen se toma como la posición de referencia ('0 mm').

Una serie de experimentos demostraron que la posición +0,5 mm en comparación con la referencia era la mejor en términos de eficiencia de recubrimiento (que se observa en porcentaje por debajo de la figura: 100 %). En esta posición, la línea central axial de la segunda área alargada (introducción del polvo) está desplazada de la línea central axial de la primera área alargada (rayo láser) en la dirección del giro del manguito. El desplazamiento asegura que la superficie de la perla se caliente de manera óptima antes de que se introduzca el polvo. La anchura de la agrupación de metal fundido que se forma fue de aproximadamente 1 a 2 mm, lo que corresponde a un tiempo de aproximadamente 20 a 40 ms. En la agrupación de metal fundido la temperatura es uniforme y máxima.

Cuando el desplazamiento es demasiado grande (posiciones marcadas +1,0 mm, 1,5 mm, +2,0 mm y +2,5 mm) la superficie de la perla se precalienta demasiado y no todo el polvo tiene tiempo para fundirse en agrupación de fusión, lo que da como resultado una disminución de la eficacia (94, 88, 84 y 75 %, respectivamente). Del mismo modo, colocar la entrada de polvo en el medio del punto del láser, es decir, la posición '0 mm' también lleva a la pérdida de material: cuando el área del rayo láser se coloca simétrica, no se tiene en cuenta para el calentamiento inicial de la superficie de la perla. Esto también da como resultado un uso menos eficaz de los materiales (98 %).

El tamaño de la agrupación de metal fundido se controló por una cámara Emaqs que funcionaba a una frecuencia de muestreo de 220Hz y se convirtió en una temperatura. Se realizaron diferentes perlas de prueba con una temperatura nominal ajustada a 1000 °C (25 %), 1100 °C (29 %), 1200 °C (32 %), 1300 °C (33 %), 1400 °C (35 %) y 1500 °C. Los números entre paréntesis se refieren a la salida del láser en relación con la potencia máxima nominal. Normalmente, la potencia de salida del láser sigue una curva como se muestra en la Figura 2. El láser se mantiene a una potencia alta entre la fabricación de las perlas. Primero se le da un pulso de láser para calentar el manguito y luego la potencia baja y se controla a través del tamaño de la agrupación de metal fundido que se forma. Hay un bucle de retroalimentación desde el sensor de temperatura Emaqs a la entrada del láser que controla la potencia del láser.

El material de matriz de las perlas se disolvió posteriormente en Aqua Regia. Los diamantes recuperados se analizaron al binocular en 4 categorías, como se ilustra en la Figura 1a a 1d.

- UA: no afectado, tal como se muestra en la Figura 1a
- IGL: grafitación interna ligera, como en la Figura 1b
- IGS: grafitación interna severa, como en la Figura 1c
- BL: degradación térmica externa como en las Figuras 1d

Los resultados para las diferentes temperaturas de ajuste se ilustran en la Figura 4. La influencia de la grafitación térmica es clara. Las perlas fabricadas a una temperatura de 1500 °C o 1400 °C muestran más del 10 % de los diamantes degradados térmica y externamente, mientras que solo el 20 % permaneció sin daños. Las perlas hechas a 1200 °C y 1300 °C tienen menos del 10 % de los diamantes que presentan una degradación térmica externa, pero alrededor del 60 % de ellos presentan grafitación interna. La parte de la grafitación interna severa disminuye con la disminución de la temperatura. Por debajo de 1200 °C, la grafitación interna se reduce claramente y más del 40 % de los diamantes están sin afectar y menos del 4 % presentan una degradación térmica externa. Del 60 % de los

diamantes que presentan una grafitación interna, solo una minoría (menos del 10 %) presenta grafitación interna severa.

5 La influencia de la grafitación se evaluó haciendo dos bucles de cuerda de aserrado de 17 metros de largo con 37 perlas por metro. Las perlas fueron roscadas en un cable de acero de 7x7/3,5, el bucle se cerró por medio de un empalme y el poliuretano se moldeó por inyección entre las perlas.

10 Se realizó un primer bucle marcado 'Inv1' a una temperatura de agrupación por fusión de más de aproximadamente 1300 °C. Se realizó un segundo bucle marcado 'Inv2' con una temperatura de agrupación por fusión entre 1150 °C y 1250 °C. Ambos bucles se probaron en varias calidades de granito. Durante el aserrado, el diámetro restante de las perlas se midió en función del número de metros cuadrados de roca cortada. Con un diámetro de perlas de aproximadamente 6 mm, los bucles se tomaron de la sierra de cordón de bucle único para un análisis adicional. Al extrapolar el comportamiento de desgaste medido al diámetro del 'final de la vida útil' de 5,6 mm, el bucle 'Inv1' hubiera podido cortar 7 m² por metro de cable de aserrado de granito de clase A. El final de la vida útil extrapolado del segundo bucle 'Inv2' fue de 12 m²/m normalizado a material de clase A. En general 10 m²/m se considera como un rendimiento aceptable de un cable de aserrado.

20 Las perlas utilizadas de la primera cuerda de la competencia 'Comp1' una segunda cuerda de la competencia 'Comp2' (también hecha de acuerdo con la ruta de la pulvimetalurgia) y la primera y segunda cuerdas 'Inv1' e 'Inv2' se analizaron bajo los binoculares. Se puede hacer una clasificación entre los diamantes que aún son capaces de cortar, es decir, diamantes "activos" y diamantes que ya no pueden cortar o que aún no han alcanzado la etapa de corte, es decir, diamantes "inactivos". La clasificación se muestra en la Figura 5 (la flecha debajo de los gráficos indica la dirección del movimiento de la perla, la región sombreada indica la matriz metálica que contiene los diamantes):

- 25
- Ac1 es un diamante afilado y sobresaliente que está cortando activamente;
 - Ac2 es un diamante con una superficie pulida. Todavía es capaz de cortar pero en menor medida;
 - Ac3 es un diamante que muestra una superficie de fractura reciente que puede empezar a cortar de nuevo

30 Los diamantes inactivos se pueden categorizar como:

- In4 es un diamante triturado que ya no sobresale de la matriz;
- In5 son diamantes que no funcionan, ya sea enterrados en la matriz, o protegidos por diamantes vecinos (indicados con 'A');
- In6 muestra la cavidad que queda después de que un diamante se haya retirado de su posición.

35 La Figura 6 muestra la ocurrencia relativa de las clases de diamante utilizadas para las cuatro cuerdas de aserrado. Comp1 fue la cuerda con mejor rendimiento y presenta principalmente diamantes extraídos In6 (45 %) y diamantes activos (42 %). Hay alrededor del 13 % de diamantes triturados. Comp2 muestra más diamantes activos (47 %), menos extraídos (37 %) pero más diamantes triturados (16 %). Inv1 presenta un bajo nivel de diamantes activos (38 %) y de extraídos (34 %), pero una gran cantidad de diamantes triturados 28 %. En comparación con 'Comp1', 'Inv2' presenta aproximadamente el mismo porcentaje, el 42 %, de diamantes activos, un nivel más bajo de diamantes extraídos (36 %) pero más diamantes triturados (22 %). Esto indica que las perlas de 'Inv2' permanecen tan activas como las de 'Comp1', pero que prefieren triturarlas en lugar de sacarlas al final de su uso.

45 Estas pruebas de campo ilustran que un número limitado de diamantes grafitados internamente en una perla de aserrado con recubrimiento láser no afecta al rendimiento general del cable de aserrado.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método para producir una perla de aserrado, comprendiendo dicha perla de aserrado una capa abrasiva sobre un manguito de metal, comprendiendo dicha capa abrasiva partículas de diamante incrustadas en un material de matriz metálica, comprendiendo dicho método las etapas de:
- proporcionar dicho manguito de metal que está hecho para girar axialmente;
 - proporcionar un suministro de material de matriz metálica en forma de polvo transportado en un flujo de gas;
 - proporcionar un suministro de partículas de diamante;
 - encender una fuente de energía en forma de un rayo láser;
- 10
- 15 en donde dicho rayo láser funde dicho material de matriz metálica en dicho manguito de metal formando así una agrupación de metal fundido en la que introducen dichas partículas de diamante, caracterizadas por que la temperatura de dicha agrupación de metal fundido se mantiene a 1150 °C o por encima durante menos de 200 ms para limitar la grafitación interna de dichas partículas de diamante.
- 20 2. El método de la reivindicación 1, en donde dichas partículas de diamante tienen un tamaño medio por encima de 100 µm.
- 25 3. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, en el que dicho rayo láser irradia una primera área alargada de la superficie de dicho manguito metálico, dicha primera área alargada que abarca sustancialmente la longitud axial de dicho manguito metálico y en donde dicho suministro de material de matriz metálica llega a la superficie de dicho manguito metálico en una segunda área alargada que abarca sustancialmente la longitud axial de dicho manguito metálico, siendo dicha segunda área alargada más pequeña que dicha primera área alargada, cubriendo dicha primera área alargada sustancialmente dicha segunda área alargada.
- 30 4. El método según la reivindicación 3, en donde la línea central axial de dicha segunda área alargada está desplazada con respecto a la línea central axial de dicha primera área alargada, estando el desplazamiento del conjunto en la dirección de rotación de dicho manguito metálico.
- 35 5. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde la potencia de dicho rayo láser se ajusta durante la deposición de dicha capa abrasiva manteniendo el área de dicha agrupación de metal fundido sustancialmente constante durante la deposición.
- 40 6. El método de la reivindicación 5, en donde dicha área de agrupación de metal fundido se controla de forma continua durante la deposición de dicha capa abrasiva y se usa como señal de retroalimentación para dirigir la potencia de dicho rayo láser.
- 45 7. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde la agrupación de metal fundido se enfría por debajo de la temperatura solidus de dicho material de matriz metálica dentro de un giro de dicho manguito para evitar la degradación térmica externa de dicha partícula de diamante.
- 50 8. Una perla de aserrado que comprende un manguito metálico, una capa abrasiva unida a dicho manguito metálico, comprendiendo dicha capa abrasiva partículas de diamante, caracterizada por que algunas de dichas partículas de diamante muestran una grafitación interna que bajo un binocular es visible como un punto negro interno distintivo en aproximadamente el núcleo de la partícula de diamante que de otro modo sería transparente ('IGS', 'IGL') y en donde menos del 10 % de dichas partículas de diamante presentan degradación térmica externa ('BL').
- 55 9. La perla de aserrado según la reivindicación 8, en la que la suma de la masa de Fe, Ni, Co, Mn y Cr es menos de 20 mg por gramo de dichas partículas de diamante.
- 60 10. La perla de aserrado según la reivindicación 8 o 9, en donde dicha capa abrasiva se deposita por un método de recubrimiento láser según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.
- 65 11. La perla de aserrado según la reivindicación 9, en donde algunas, pero no más del 60 % de las partículas de diamante presentan grafitación interna ('IGS', 'IGL').
12. La perla de aserrado según la reivindicación 10, en la que algunas, pero no más del 40 % de las partículas de diamante presentan grafitación interna ('IGS', 'IGL').
13. Un cable de aserrado que comprende un cable de acero y perlas de aserrado enroscadas en el mismo en donde las perlas de aserrado están separadas por un manguito de polímero, caracterizado por que dichas perlas de aserrado son de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 12.

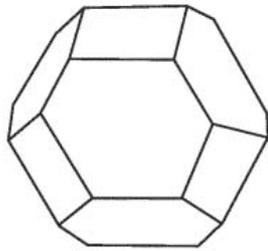


Fig. 1a

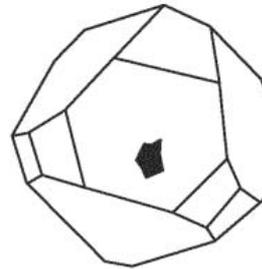


Fig. 1b

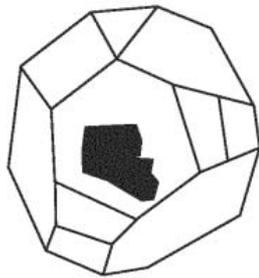


Fig. 1c

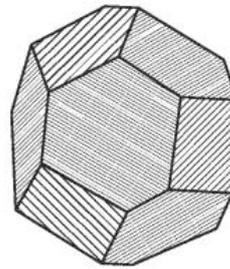


Fig. 1d

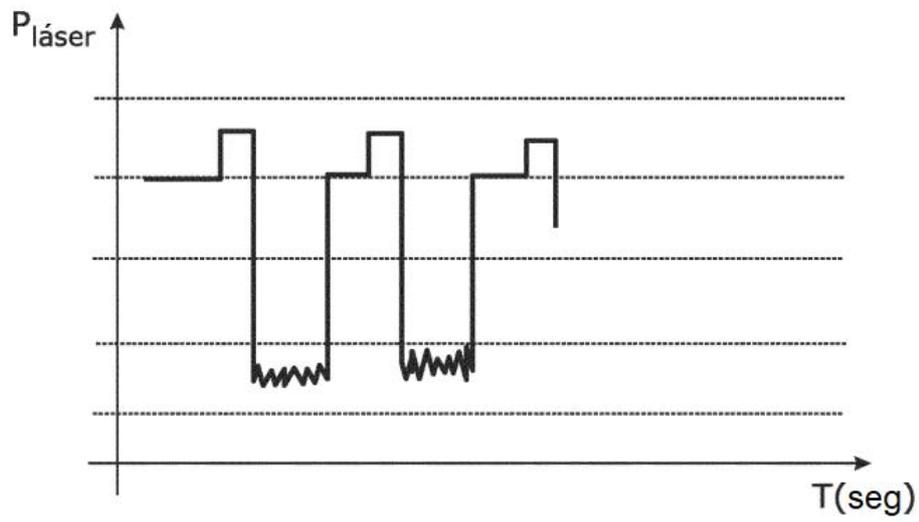


Fig. 2

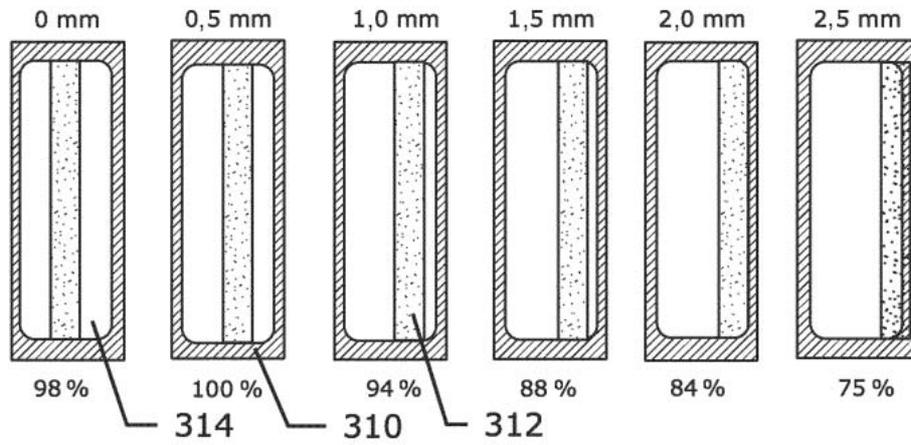


Fig. 3

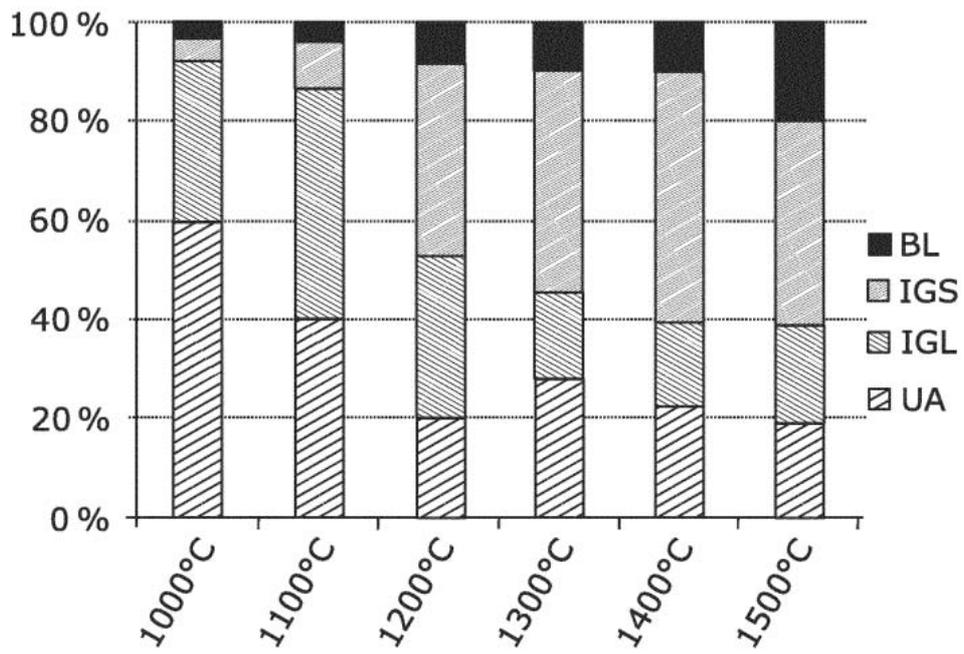


Fig. 4

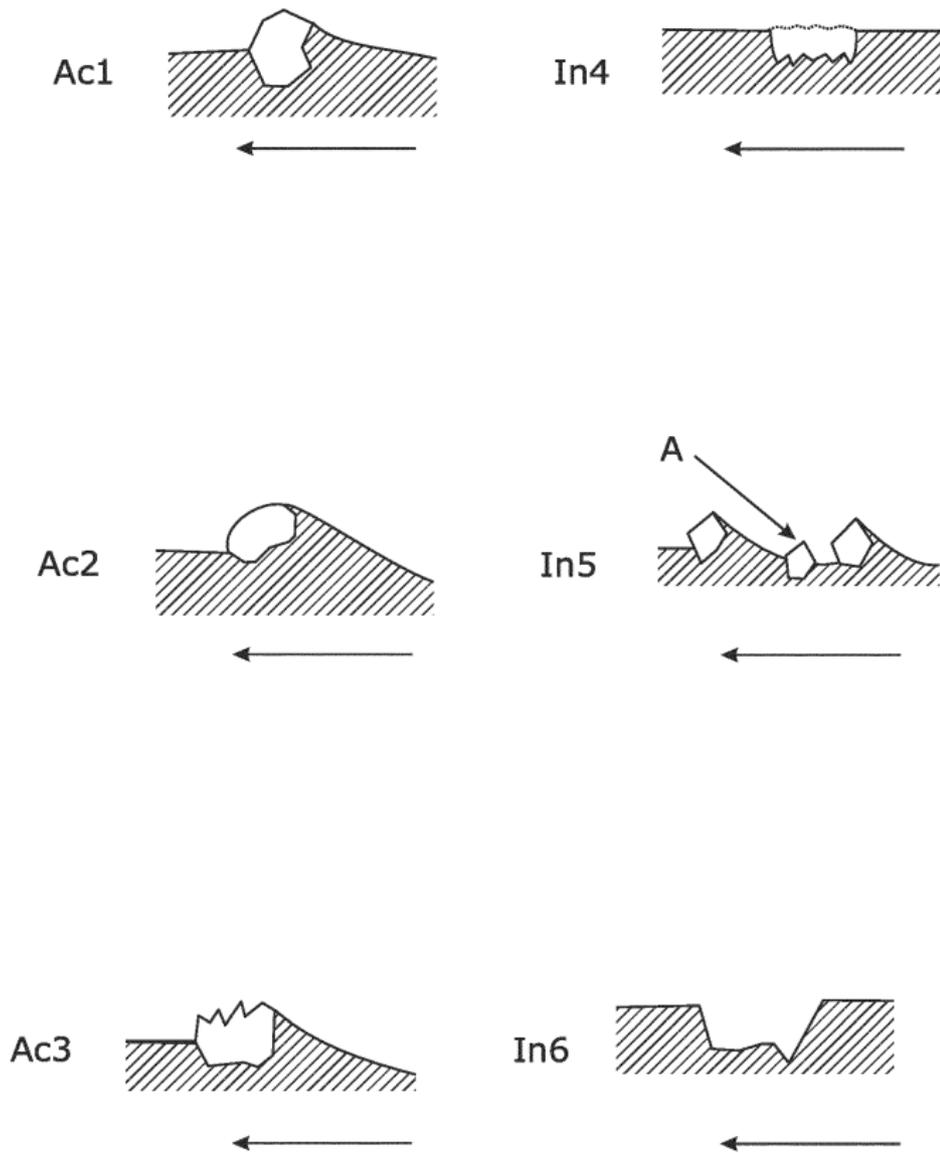


Fig. 5

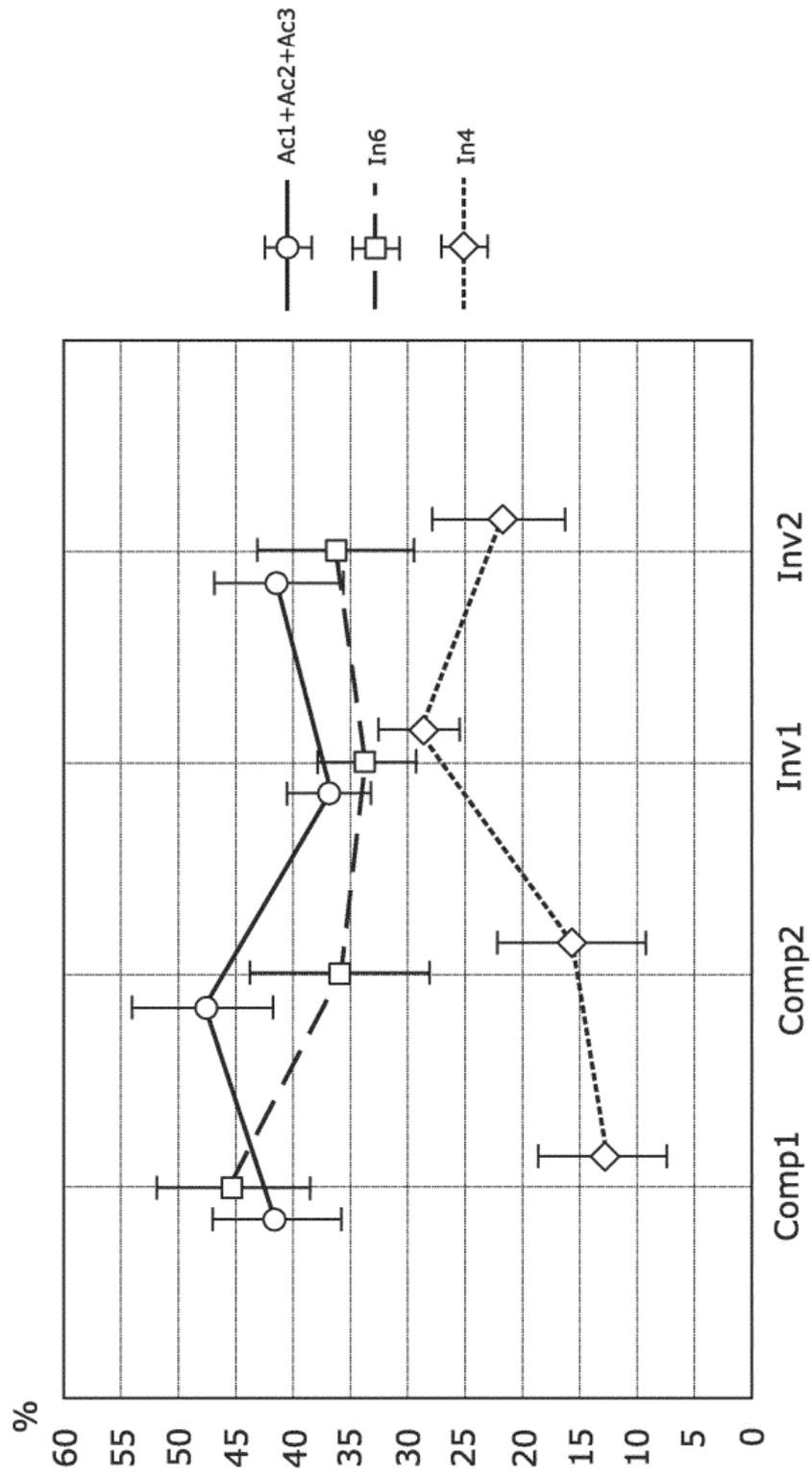


Fig. 6