

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 624 290**

51 Int. Cl.:

B28D 1/12 (2006.01)

B23D 65/00 (2006.01)

B23D 61/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.03.2012 PCT/EP2012/053642**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.09.2012 WO12119946**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.03.2012 E 12706280 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.02.2017 EP 2680997**

54 Título: **Perla de sierra**

30 Prioridad:
04.03.2011 EP 11156981

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
13.07.2017

73 Titular/es:
**NV BEKAERT SA (100.0%)
Bekaertstraat 2
8550 Zwevegem, BE**

72 Inventor/es:
**VANEECKE, JAN;
GROENEN, ROLAND y
BAEKELANDT, TOM**

74 Agente/Representante:
ISERN JARA, Jorge

ES 2 624 290 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

Perla de sierra

5 Campo técnico

10 La invención se refiere a una perla para su uso en una cuerda de sierra, un ejemplo de una perla de este tipo se describe en el documento WO 02/06553 A. Estas cuerdas de sierra se utilizan para cortar materiales duros y frágiles como piedra natural (mármol, granito, piedra, ...), piedra artificial (hormigón, ladrillo, ...), materiales compuestos o materiales cristalinos (mono o policristalinos).

Antecedentes de la técnica

15 Perlas que tienen una capa abrasiva externa de una matriz metálica en la que están incrustadas partículas de diamante parecen estar descritas primero en el comienzo de los años cincuenta del siglo anterior (véase, por ejemplo, el documento US 2.679.839, presentado en 1952). Tales perlas se encadenan en una cuerda de acero y están separadas por medio de muelles (véase el documento US 2.679.839) o por medio de un material de plástico (véase, por ejemplo, el documento FR 1.203.000, presentado en 1958). El material plástico también podría ser inyectado entre las perlas con la ayuda de un molde (documento FR 1.203.000, primera adición, presentado en 20 1959). Las ideas de fijar la cuerda directamente a la cuerda de acero, por ejemplo, por medio de un pasador (documento GB 759,505, presentado en 1953), por medio de soldadura (documento FR 1.265.542, presentado primero en 1960) o por medio de estampación (documento US 3.598.101, presentado primero en 1968) también fueron exploradas.

25 Inicialmente, estas cuerdas de sierra, cuando se utilicen en las sierras fijas, en las que competían con sierras de hojas múltiples (bastidores accionados recíprocamente montados en paralelo de láminas de acero sobre las que se montan brocas que contienen diamante) y sierras de disco circulares. La cuerda de sierra se hizo en un bucle cerrado mediante corte y empalme de la cuerda de acero como, por ejemplo, se describe en el documento US 2.773.495, presentado en 1953). Después de tensar el bucle sobre dos grandes ruedas accionadas por un motor, la 30 cuerda podría ser utilizada como una sierra. Están disponibles máquinas de estados actuales de la técnica en las que hasta 80 bucles son conducidos en paralelo entre sí para separar un bloque de piedra en una serie de losas. En un uso alternativo, tales cuerdas de sierra de perlas de diamantes empezaron a aparecer en las canteras a principios de los años setenta del siglo pasado, donde fueron utilizadas para la extracción de bloques.

35 Un número de métodos se han explorado por los que el material abrasivo - en su mayoría de diamante - se puede fijar sobre las perlas. Está el método de fijar los diamantes a un tubo metálico por medio de deposición electrolítica o no electrolítica de níquel (WO 2002/40207). También existe el método de incrustación de las partículas abrasivas en una soldadura fuerte que se aplica directamente sobre la funda de metal como se describe en el documento US 7.089.925.

40 El método que se ha convertido en el más exitoso es a través de la ruta de la metalurgia de polvos (ya descrita en el documento US 2.679.839). Con este fin un elemento abrasivo anular está hecho de polvo de diamante que se mezcla a fondo con polvo metálico y una cera orgánica opcional para formar una pasta. La mezcla de polvo de metal normalmente contiene componentes de alta temperatura de fusión tales como cobalto, tungsteno, hierro, níquel 45 veces en combinación con componentes de baja temperatura de fusión como el cobre, estaño, plata para mejorar la consolidación. Posiblemente compuestos tales como carburo de tungsteno se pueden añadir para influir en la dureza y desgaste de la perla. La mezcla se pone en un molde. Esta preforma se sinteriza en una cuerda de alta densidad por aplicación de presión (por presión dinámica en el molde o por la aplicación de presión isostática a través de inmersión en un fluido a presión alta) y la temperatura. Gases adecuados se aplican con el fin de evitar que el polvo 50 se oxide durante la sinterización.

En el proceso de sinterización el elemento abrasivo anular se calienta a una temperatura elevada seguido de un enfriamiento lento, es decir, en un equilibrio cuasi térmico. Incluso si no todos los componentes de la aleación tienen la oportunidad de fundirse, la adición de componentes de punto de fusión bajo dará lugar a fases intermetálicas 55 entre los diferentes componentes a través de la difusión. Por consiguiente, la sección transversal metalográfica de tal elemento abrasivo anular muestra una estructura globular y/o granular. En el proceso de sinterización del grano clásico en general se prefiere que el tamaño de grano deba ser pequeño con el fin de obtener una dureza suficiente del material de la matriz. Este tamaño de grano puede ser afectado por la variación de las propiedades de los polvos de partida y las condiciones para su consolidación. En cualquier caso, los granos permanecen visibles en una 60 sección transversal metalográfica correctamente grabada al agua fuerte y no hay efectos de crecimiento direccionales visibles. Véase, por ejemplo "Powder Metallurgy Diamond Tools" de Janusz Konstanty, Capítulo 5, de 2005, Elsevier Science Title, ISBN 978-1-85617-440-4.

65 La selección de los metales, cantidad y tipo de diamantes, y la trayectoria de presión-temperatura es conocimiento práctico interno de los productores que influyen en gran medida la calidad del producto final.

Después de la sinterización el elemento anular abrasivo está fijado a un manguito metálico ligeramente más largo que el elemento abrasivo por medio de una soldadura fuerte. La combinación del manguito metálico con el elemento abrasivo se llama una perla. La necesidad de un tubo metálico sobre el que fijar el elemento abrasivo puede ser eliminado mediante la formación del elemento abrasivo suficientemente preciso como se describe en el documento US 2007/0194492 A1.

Las perlas sinterizadas se han convertido en el líder tecnológico debido a que:

- tienen una capa abrasiva suficientemente gruesa
- en la que los diamantes están incrustados al azar por toda la capa,
- el material de la matriz se desgasta al mismo ritmo en que se gastan los diamantes
- mientras que el material de la matriz conserva bien los diamantes y
- por que las perlas pueden ser hechas de forma reproducible con tolerancias geométricas estrechas.

A continuación, las perlas son enhebradas en una cuerda de soporte de filamento de acero (“cuerda de acero”) y posteriormente son fijadas por muelles o un plástico. Esta “etapa de enhebrado” es tediosa y consume mucho tiempo. A medida que la superficie de las perlas se suaviza debido a la presión en un molde, las perlas deben ser “vestidos” antes de ser utilizados. Esto se hace generalmente por el uso de la cuerda de sierra inicialmente a baja velocidad de corte hasta que las partículas abrasivas sean liberadas de la superficie y corten mejor. Tal “etapa de vestido” es mucho tiempo.

Otro método para producir capas abrasivas está haciendo sus incursiones en el mundo de las hojas de sierra para el corte de piedra a saber mediante el revestimiento de láser. En el revestimiento de láser una corriente de polvo se introduce en un haz de alta intensidad de un láser que se enfoca en la superficie del sustrato por medio de una corriente de gas portador. El polvo es una mezcla de polvo metálico y las partículas abrasivas (por lo general de diamante). El polvo se funde y forma un charco de metal fundido que se solidifica y fija las partículas abrasivas.

El documento DE 195 20 149 A1 describe un procedimiento para el revestimiento de láser de un sustrato mediante el cual por medio de un molde enfriado (o calentado) puede ser formado casi un acabado final de una superficie resistente al abrasivo o desgaste. El revestimiento se aplica sobre el molde después de lo cual se retira el molde. La aplicación solo analiza la deposición sobre sustratos relativamente voluminosos, tales como una hoja de sierra. El revestimiento se realiza en una sola capa.

El documento WO 1999/18260 (EP 1027476) describe una herramienta de corte construida sobre un sustrato de acero con un revestimiento abrasivo que comprende material abrasivo incrustado en un agente humectante que contiene una matriz metálica o de aleación de metal, donde entre el revestimiento abrasivo y el sustrato de acero está presente una capa no ferrosa que está sustancialmente libre del agente humectante. Aunque el resumen menciona un cable de sierra como un ejemplo de una herramienta de corte, esto no se ejemplifica adicionalmente en la descripción.

En el revestimiento de láser, la baja densidad de diamante con relación a la de un metal fundido hace que los diamantes floten hacia arriba en el baño de metal, lo que conduce a una distribución no homogénea de los diamantes (véase la figura 16 de “Herstellung diamanthaltiger, endkonturmaher, Metallmatrix-Verbundwerkstoffe durch Laserstrahlbeschichten” de A. Lang y H. “W”. Bergmann en “Material-Wissenschaften und Werkstofftechnologie”, Vol. 27 pp. 215-226, 1996). Una solución consiste en utilizar partículas abrasivas más finas donde la flotación hacia arriba es frenada por la viscosidad del baño de metal. Sin embargo, para muchas aplicaciones tecnológicas - en particular el corte de piedra - partículas finas de diamante no son una opción.

Otra solución se describe en el documento WO 1998/15672 donde una disposición particular de movimiento en la superficie de sustrato vertical con una herramienta de revestimiento de láser en la dirección horizontal hacia arriba conduce a un aumento de las partículas de diamante en la dirección de la capa depositada. Una vez más la deposición es en una capa.

El documento WO 02/06553 da a conocer un método para la fabricación de perlas de sierra según el método de revestimiento de láser. No se dan detalles sobre la estructura metalográfica resultante del método, ni de los materiales utilizados. Un pre- y post- procesamiento considerables del tubo de transporte resultante es necesario con el fin de obtener la perla de sierra.

Aunque los métodos descritos para la fabricación de una herramienta de corte por medio de revestimiento de láser a veces sugieren que es adecuado para la fabricación de perlas para cuerdas de sierra, estos resultaron no ser en absoluto sencillos como los inventores experimentaron. Todas las patentes describen la deposición de una capa abrasiva de revestimiento de láser sobre un sustrato de acero de carbono bajo masivo (tal como un disco de sierra o tubo). En esos casos un gran disipador de calor está disponible para drenar el exceso de calor.

Los inventores se enfrentaron y resolvieron cuatro grandes problemas

- Uno de los problemas es drenar el calor suficientemente rápido del pequeño manguito de metal de menos de un gramo (!), de manera que no se deforme o, desastre total, se funda completamente. Por otra parte, suficiente calor debe ser suministrado con el fin de ser capaz de obtener una unión fuerte con el manguito y para formar una capa abrasiva densa. Esto se conoce como el “problema de calentamiento”;
- El “problema de geometría” mediante el cual resulta difícil producir las perlas de forma consistente dentro de las tolerancias geométricas y con la suficiente redondez y centralidad. Este problema es particularmente importante ya que durante el uso la cuerda de sierra debe girar con el fin de garantizar un desgaste uniforme de la capa abrasiva.
- El “problema de la distribución de partículas” mediante el cual resultó ser difícil tener una distribución uniforme de las partículas abrasivas en el revestimiento abrasivo. Esto es importante ya que durante el uso el material de la matriz se erosiona gradualmente exponiendo diamantes que se ubican radialmente inferiores en la capa. Si todos los diamantes están, por ejemplo, en la superficie, se desgastarán primero y no hay disponibles diamantes que se ubiquen más abajo.
- El problema del vestido, que es el problema de que las partículas abrasivas están enterradas bajo una capa de material de la matriz y no son activos desde el primer uso en adelante.

20 Divulgación de la invención

Según la invención, se proporciona una perla que tiene las características de la reivindicación 1. Método de producción y la sección de selección de hardware.

25 El método se aclarará con referencia a las figuras 1 a 3 y 10. El dígito de la centena se refiere al número de la figura en la que se introduce primero una característica.

Según un primer aspecto de la invención se describe un método de producción de una perla. El método comienza a partir de un tubo metálico 204 que tiene un diámetro exterior OD. En su caso más extremo, el tubo puede ser una varilla, pero esto es menos preferido ya que esto trae una etapa adicional de tener que perforar un orificio central después de que la cuerda ha sido producida. Por lo tanto, el tubo metálico tiene preferiblemente un diámetro interno ID, un poco más grande que el diámetro de la cuerda de acero. En lo que sigue “un manguito” es un tubo que es más corto que aproximadamente diez veces el diámetro exterior del tubo. Por lo tanto “un manguito” es un tipo particular de “tubo”. El tamaño de las cuerdas de sierra actuales está estandarizado. En la actualidad los siguientes tipos del manguito de la realización del talón son las más preferidas:

- Diámetro interior de 5 mm, diámetro exterior de 7 mm (es decir, el espesor de la pared es de 1 mm), longitud de 11 mm con una masa total de 1,6 gramos. Incluida la capa abrasiva la perla tiene un diámetro total de alrededor de 9 a 11 mm. Esto es para uso con una cuerda de acero de diámetro 4,95 mm. Este tamaño es particularmente preferido para la extracción de bloques en canteras.
- Diámetro interior de 3,7 mm, diámetro exterior de 5,0 mm (es decir, el espesor de pared de 0,65 mm), longitud de 11 mm con una masa total de 0,77 gramos. Este tamaño se prefiere particularmente para máquinas de corte de losas. El diámetro exterior total de la perla es de unos 7,2 mm (5,7 mm en el final del uso). La cuerda de acero utilizado tiene un diámetro de 3,5 a 3,6 mm.

Para el futuro, se consideran manguitos con un diámetro aún más pequeño tal como por ejemplo un diámetro interior de aproximadamente 3,0, o incluso inferior a 2,5 mm, un diámetro exterior de como máximo 4,0 mm con espesores de pared de menos de 0,5 mm, una longitud de aproximadamente 11 mm o inferior, con un peso de menos de 0,5 gramos y un diámetro total de menos de 7,0 mm. La cuerda de acero tendrá un diámetro de menos de 2,9.

En cada caso de 1 a 3 gramos, a veces de 1 a 2 gramos de capa abrasiva tienen que estar presentes en el manguito. Por supuesto, a más cantidad de la capa abrasiva esté presente, mayor será la vida útil de la perla. Los tamaños y masas antes mencionados son indicativos. La tendencia hacia diámetros totales más finos está allí. Esto trae consigo que los manguitos se harán más ínfimos y por lo tanto el tubo de partida tendrá un espesor de pared y OD menores.

La masa del material abrasivo en el tubo es, después de la aplicación del método, más alta que la masa del tubo o varilla cubierta por la capa abrasiva. O incluso más grave: el espesor de pared del tubo es menor que el espesor de la capa de abrasivo. Es el mérito de los inventores haber encontrado la forma en que dicha capa gruesa se puede depositar sobre tales sustratos ínfimos.

El tubo se sostiene en uno o ambos extremos por medio de una pinza de torno o mandril de taladro o abrazadera similar 202. El tubo está por preferencia montado de forma giratoria y, opcionalmente, el tubo puede ser desplazado axialmente sobre al menos la longitud de la capa abrasiva (5 a 15 mm).

En el uso del método está hecho de un sistema de revestimiento de láser 100 equipado con:

- un láser de alta intensidad capaz de suministrar haces de al menos 100 W, 1 kW o más de potencia continua o pulsada, por preferencia emitiendo en la región infrarroja del espectro. Son particularmente adecuados los láseres Nd:YAG (neodimio granate dopado con itrio-aluminio) bombeados por lámparas de flash o láseres de estado sólido o láseres de gas CO₂. El láser de luz es guiado a través de guías de onda adecuadas y ópticas 112 para tener un punto focal 103 que se puede ajustar en la proximidad de la superficie del sustrato;
- un suministro de material de la matriz metálica 104, en forma de un polvo, o un alambre o una cinta que se alimenta en el punto focal del láser. El polvo puede, por ejemplo, ser suministrado en un gas portador, preferentemente un gas no oxidante o gas inerte tal como argón;
- un suministro de partículas abrasivas 102. Estas partículas son con preferencia llevadas por una corriente de gas portadora. Preferiblemente, el tipo de gas para transportar las partículas abrasivas y para transportar el material de la matriz metálica es el mismo. Alternativamente y también se prefiere que el suministro de partículas abrasivas 102 simplemente se puede hacer por esparcido.

Preferentemente, cada uno de los suministros de polvo de la matriz metálica 104, de las partículas abrasivas 102 o de la entrada de calor por medio del láser puede ser modulado en el tiempo de forma independiente y puede ocurrir a través de canales de alimentación separados. El suministro de polvo de la matriz metálica 104 y de las partículas abrasivas 102 se puede combinar en un único canal de alimentación, aunque esto no es una necesidad.

Un procedimiento particularmente preferido es en el que el suministro de material de la matriz metálica y el suministro de partículas abrasivas son tales que el grosor medio de la pista formada está entre 0,1 y 5 veces o entre 0,5 y 3 veces o entre 1 y 3 veces el tamaño medio de las partículas abrasivas. Con “espesor medio” se entiende la media aritmética de al menos 12 mediciones en dirección radial a intervalos angulares regulares con exclusión de los radios que atraviesan las partículas abrasivas. El flujo de masa necesaria para cada uno de los suministros respectivos de partículas abrasivas y el material de la matriz metálica puede calcularse a partir de las densidades de ambos constituyentes.

Preferiblemente, la corriente de gas portador es dirigida por medio de una pistola de láser tal como se describe en el documento US 6.316.744, en el que el flujo de gas es coaxial al rayo láser y converge hacia el punto focal a través de una boquilla anular cónica. Tal pistola láser también es enfriada por agua con el fin de evitar el calentamiento de la boquilla. El material de la matriz metálica puede ser alimentado a través de la pistola de láser, mientras que el abrasivo se entrega a través de un flujo de gas separado o simplemente por esparcido. Alternativamente, el material de la matriz metálica puede ser entregado a través de una boquilla separada de la pistola láser mientras que las partículas abrasivas son alimentadas a través de la pistola láser. O ambas partículas abrasivas y el material de la matriz metálica pueden ser suministrados a través de la pistola láser. Lo que se prefiere es que el suministro de partículas abrasivas y el suministro de material de la matriz metálica sean independientes ya que no tienen propiedades de polvo - y, por lo tanto, el flujo - muy distintas.

La trayectoria de la luz del láser se ajusta de modo que el punto 103 focal está en la vecindad de la superficie del tubo 110. Una realización particularmente preferida del método es cuando el punto focal 103 se forma ligeramente (3-10 mm) por encima de la superficie del tubo de sustrato metálico. De esta manera el material de la matriz es calentado antes de que incida sobre la superficie del tubo. El material de la matriz metálica calentado a continuación, se pega mejor al tubo metálico 204.

De este modo una piscina de metal fundido 108 se forma en el tubo de sustrato. Al mismo tiempo - o un poco a partir de entonces - las partículas abrasivas son arrojadas a la piscina de metal fundido por el suministro de partículas abrasivas 102 realizado por el gas portador o esparciendo por gravedad asistida las partículas.

Incluso antes de que el sistema de revestimiento de láser se encienda, el tubo metálico se hace girar alrededor de su eje. Alternativamente, la pistola láser puede girar alrededor del eje del tubo metálico estacionario. O tanto el tubo y la pistola láser pueden girar uno respecto al otro. Por supuesto, la primera alternativa es la más preferida ya que es la menos compleja. Un movimiento de rotación relativo 209 entre el tubo metálico y el sistema de revestimiento de láser es así establecido.

Tan pronto como el sistema de revestimiento de láser se inicia, una pista 206 de material metálico de la matriz solidificado se forma en el tubo. Un ligero retraso entre el encendido del láser y la llegada de partículas abrasivas permite establecer la piscina de metal fundido antes de que las primeras partículas abrasivas sean arrojadas a ella. Si la pistola de láser no se mueve axialmente con respecto al tubo metálico, se construirá una pista que hace un bucle sobre sí misma. El material - después de una vuelta - se deposita sobre el material ya solidificado. Esto se prefiere particularmente si la boquilla de la pistola de láser ofrece una pista suficientemente amplia, es decir, la anchura “W” de la pista es aproximadamente la longitud de la perla. Los perfiles de pistas de revestimiento de láser muestran una distribución generalmente elíptica de rectangular por lo que se puede establecer su anchura fácilmente. La anchura de la pista se relaciona con el tamaño del punto láser perpendicular a la dirección de movimiento relativo. La figura 10a muestra una sección transversal de una cuerda con un manguito 1012 y con una sola pista en espiral enrollada en sí misma resulta en capas posteriores 1004, 1004”, ..., 1004^{IV} revestidas en la

parte superior de la otra.

5 Si la boquilla de la pistola de láser no cubre la anchura necesaria para la perla, la introducción de un movimiento axial relativo 211 es una opción. Preferentemente el desplazamiento axial después de una rotación completa - el paso - es igual o menor que la anchura "W" de la pista. Preferiblemente, el paso es una fracción de la anchura "W" por ejemplo $W/2$, $W/3$, ... o en general W/Q (Q es un número racional positivo). De ahí que la capa abrasiva estará formada por al menos capas "Q" de las cuales la primera 206 está en contacto con el tubo metálico sobre toda la capa, mientras que las capas siguientes 208, 210, 212, 214, 216 ... solo tienen como máximo $1/Q$ de su ancho de vía en contacto con el sustrato metálico, mientras que la parte restante $(Q-1)/Q$ es en la parte superior de una pista ya formada (el "solapamiento"). El aumento de la superposición tiene efectos beneficiosos para la distribución de partículas abrasivas en la capa abrasiva (el "problema de la distribución de partículas"). La figura 10b muestra una sección transversal esquemática de una perla de este tipo con pistas 1004, 1004', ..., 1004^v axialmente desplazada más de $W/3$ o Q es 3.

15 Otro procedimiento del método es cuando el movimiento de traslación opcional se realiza en un movimiento paso a paso. En primer lugar, la pista está revestida sobre unas cuantas vueltas de tubo sin movimiento axial relativo hasta que el material suficiente se construye en la sección inicial de la perla. A continuación, la pistola de láser se mueve axialmente sobre un número de intervalos de cada uno de dichos intervalos que cubren una longitud predefinida a una velocidad predefinida. Finalmente, el movimiento de la pistola de láser se detiene de nuevo y algunas vueltas solapadas se hacen al final de la perla. De esta manera la masa de la capa de abrasivo se puede propagar a voluntad a lo largo de la perla. Un ejemplo de esto se muestra en la figura 10c, en el que las diferentes pistas se desplazan un ancho de vía W el uno del otro. Dos capas (por ejemplo, 1004, 1004') se depositan en la parte superior una de otra.

25 Preferiblemente, el tiempo para formar la capa abrasiva está limitado a menos de aproximadamente 10 segundos, o menos de 5 segundos o incluso menos de 3 segundos. Sin embargo, se tardará al menos 0,5 segundo para hacer una sola capa abrasiva de las dimensiones actualmente en uso. La velocidad de rotación relativa del tubo debe ser tal que al menos se alcanza una velocidad del tubo circunferencial " v_t " de 5 mm/segundo. Esto corresponde a una vuelta en unos 4 segundos en un tubo de 6 mm de diámetro exterior. Más preferido es sin embargo que la velocidad de rotación es mayor, por ejemplo, 1 vuelta en 2 segundos, o más de 2, 3, 4, 5, ... se convierte en 2 segundos de tiempo de revestimiento de láser. Esto corresponde a velocidades circunferenciales de tubo por lo menos 9, 18, 28, 37, ... mm/segundo. Aumentar el número de vueltas por segundo tiene un efecto beneficioso en la carga térmica del tubo. Por otro lado, la velocidad del tubo circunferencial no puede ser demasiado alta dado que entonces el baño de metal fundido que se forma se separa del manguito debido a las fuerzas centrífugas. Esto ocurre cuando las velocidades circunferenciales de más de 500 mm/segundo se aplican sobre un manguito de diámetro exterior de 6 mm. Para manguitos más pequeños esta velocidad periférica debe ser inferior para evitar la deriva. Por ejemplo, en un manguito OD de 4 mm " v_t " debe permanecer por debajo de 410 mm/segundo.

40 Después de que se forma la perla, es decir, cuando se alcanza un espesor de aproximadamente 1 a 3 mm sobre la longitud axial total de alrededor de 3 a 15 mm de la capa abrasiva, el revestimiento del tubo se detiene y se permite que el talón así formado se enfríe (figura 2d).

45 En una realización alternativa, la detención del revestimiento del tubo se realiza en etapas, a saber, primero detener el suministro de partículas abrasivas mientras continúa el flujo de material de la matriz metálica durante al menos una rotación del tubo antes de dejar que la cuerda se enfríe. Como opción, el rayo láser puede estar "encendido" o "apagado" durante esta al menos una rotación del tubo. En cualquiera de estas situaciones (el rayo láser "apagado" u "encendido") una cubierta final se pone sobre las partículas abrasivas para una mejor fijación. Cuando el rayo láser está "apagado" la perla todavía caliente se enfría más rápido. La perla resultante muestra las partículas abrasivas que se sobresalen de la superficie de la perla, pero se sostienen con una capa ínfima de material de la matriz metálica para retener las partículas. Una perla de este tipo tiene la ventaja particular de que no hay necesidad de "vestir" la perla resolviendo de ese modo el "problema de vestido".

55 A fin de superar el "problema de geometría", los inventores pusieron a un lado una pieza de formación 304 sobre el extremo del tubo que forma una esquina circunferencial rectangular contra la que se construyó la capa abrasiva. Después de quitar la pieza de formación, se puede obtener un buen borde afilado de la perla. Al poner una pieza de formación 304, 306 en ambos extremos del tubo, ambos extremos de la capa abrasiva de la perla son planas. Estas piezas forman 304, 306 están presentes durante la formación de la capa de abrasivo.

60 Las piezas de formación 304, 306 pueden estar en la forma de un anillo, o más preferida, de un anillo segmentado (con dos o más segmentos) que se puede abrir a un diámetro de al menos el diámetro de la perla acabada y al cerrar ajusta herméticamente el tubo. Las piezas de formación se pueden conformar, por ejemplo, imponer una o más protuberancias o uno o más rebajes en uno o ambos lados de la capa abrasiva.

65 Además, o alternativamente a las piezas de formación 304, 306 en uno o ambos extremos, después de la parada del revestimiento de láser, pero antes del enfriamiento completo de la perla, la perla todavía blanda puede ser conformada mediante la calibración en un molde. Un molde de este tipo puede tomar la forma de dos mitades que

dan la forma final a la perla después de haber sido cerrado. Posiblemente, el tubo se puede girar mientras que la perla se mantiene en el molde con el fin de mejorar la simetría de rotación de la perla.

5 Además, o alternativamente a proporcionar piezas de formación 304, 306 en uno o ambos extremos del tubo, la perla también puede ser formada empujando un molde de rotación 308, por ejemplo, un rodillo contra la perla después de la interrupción de dicho revestimiento de láser, pero antes del enfriamiento completo de la perla. El molde de rotación 308 debe ser retenido contra la perla y rodar sobre ella durante al menos todo un perímetro de la perla.

10 Al proporcionar el molde de rotación 308' y/o dichas piezas de formación 304, 306 con un patrón estructurado, el negativo de este patrón puede ser llevado a los lados (en caso en que se formen las piezas de formación) o la superficie exterior (en caso de un molde rotativo formado 308") de la capa abrasiva de la perla.

15 El pegado de los anillos y/o el molde es un problema que se produce. Con el fin de evitar esto, los inventores encontraron que es mejor hacer las partes de molde en un material de metal brillante tal como por ejemplo latón pulido u otra aleación a base de cobre (cobre-berilio). El alto coeficiente de reflexión de estas partes impide que sean calentadas por el haz de láser.

20 En una realización preferida adicional del método el tubo de sustrato se sostiene en un extremo, por ejemplo, por un mandril para torno 202, el revestimiento abrasivo 220 es revestido por láser en el tubo 204 de acuerdo con cualquiera de los métodos descritos anteriormente. La perla así formada se corta por medio de un cincel o una sierra 218. El tubo 204 progresa axialmente a través del mandril para torno 202 bajo el aparato de revestimiento de láser y el ciclo se repite. De este modo las perlas se pueden hacer tal que una además puede ser roscada en una cuerda de acero de la manera conocida.

25 Como alternativa, el mandril para torno 202 puede tomar el papel de una pieza de formación 304. A continuación, el revestimiento de láser comienza contra el mandril para torno y después se forma el reborde del tubo se avanza sobre al menos la longitud de la perla. A continuación, la perla se corta por medio de un cincel o una sierra. Una pieza fresca de tubo ya está presente para empezar un nuevo ciclo. Opcionalmente una segunda pieza de formación 306 puede ser cerrada alrededor del extremo libre del tubo con el fin de formar los dos lados de la perla. Después de terminar la perla, la pieza de formación 306 debe abrirse preferiblemente suficientemente con el fin de permitir que la perla pase.

35 Alternativamente, una serie de capas abrasivas se puede depositar sobre el tubo, dando un paso adicional gradualmente al tubo cada vez que se recubre la anchura de una capa abrasiva. Después, el tubo se puede cortar en las perlas individuales.

Resulta ser muy beneficioso enfriar el tubo con el fin de evitar la carga de calor excesivo en el tubo. Esto puede hacerse en un número de maneras:

- 40
- Un fluido puede ser conducido a través del tubo, mientras gira. Un fluido puede ser un gas o un líquido. Ejemplos son el nitrógeno o el agua. La velocidad de flujo se puede ajustar. Los gases tienen la ventaja de que no tienen que ser recogidos, pero que necesitan una velocidad de flujo mayor que los líquidos.
 - Un sólido se puede mover a través del tubo que absorbe algo del calor.

45 Una forma particularmente conveniente para ejecutar el enfriamiento es moviendo la cuerda de acero - que posteriormente funcionará como la cuerda de soporte para las perlas - a través del tubo. De esta manera las perlas se producen mientras está en la cuerda eliminando así la etapa de tener que enhebrar las cuentas en la cuerda de acero después. La cuerda de acero también se puede mover hacia atrás y hacia delante de modo que la temperatura de la cuerda de acero no se eleva demasiado. Cuanto menor sea la temperatura a la que permanece la cuerda de acero, mejor: la transferencia de calor se mejora (una mayor diferencia de temperatura es beneficiosa para la refrigeración) y los daños en la cuerda se reducen al mínimo.

50 Los tubos se pueden presionar y conectar alrededor de la cuerda de acero en una etapa anterior como se describe en la solicitud PCT/EP2010/067527 (en particular los párrafos [0016] a [0018]) antes de su revestimiento mediante revestimiento de láser.

55 A pesar de que el revestimiento de láser con matrices metálicas que contienen partículas abrasivas se conoce, estos métodos se producen únicamente sobre sustratos metálicos voluminosos tales como taladros de perforación, hojas de sierra, cuchillas de molienda, tubos y similares. Parece un perjuicio en el campo que se necesitan tales sustratos voluminosos con el fin de ser capaces de drenar el calor del proceso de revestimiento en el proceso de revestimiento de láser. Como la masa del manguito tubular es muy pequeña la velocidad de enfriamiento "dT/dt" junto con la velocidad circunferencial "v_t" determinarán si el manguito sobrevivirá el proceso de revestimiento o no. En contraste con ello se necesita una cantidad suficiente de calor con el fin de formar una capa de unión metalúrgica entre el manguito 207 y las capas abrasivas 206 y para consolidar las capas posteriores 208, 210, ... entre sí. Estos requisitos son contradictorios, pero conciliados por el método anterior de este modo se da a conocer la resolución el

“problema de calentamiento”. Los inventores sorprendentemente encontraron que el método de revestimiento descrito puede ser utilizado para la producción de perlas de sierra, en la que la masa de la capa abrasiva es mayor que la masa del tubo metálico o varilla cubierta por dicha capa de abrasivo. Solo la masa de radial del tubo bajo la capa abrasiva debe ser considerada. La masa del tubo revestida puede ser de menos de 1 gramo.

O incluso más grave: que el espesor de pared del tubo metálico sea menor que el espesor de la capa de abrasivo. Por supuesto, el espesor de la perla no utilizada se ha de considerar como que - durante el uso - la mayor parte de la capa abrasiva se desgastará.

Sección de selección de materiales

Preferentemente el tubo metálico que se utiliza como un sustrato está hecho de un metal o aleación metálica que tiene un punto de fusión más alto que el del material de la matriz metálica. Los metales especialmente apreciados son aceros al carbono o acero inoxidable. Se prefiere un acero baja de carbono a medio, es decir, con contenido de carbono entre 0,04 % en peso y 0,80 % en peso por ciento en peso de carbono. El sustrato puede ser suministrado en forma de un tubo largo. O el sustrato puede ser suministrado en forma de manguitos cortos que se han formado y conectado alrededor de la cuerda de acero de soporte como se describe en la solicitud PCT/EP2010/067527 del solicitante (más en particular los párrafos [0016] a [0018]). Los manguitos a continuación muestran una conexión. El espesor de pared del tubo metálico es menor que 1 mm, incluso más delgado de 0,7 mm mientras que las pruebas de éxito han sido realizadas por los inventores en los manguitos, con un espesor de pared de 0,3 mm. Los inventores creen que un espesor de pared de 0,2 mm o incluso 0,1 mm es factible. Los manguitos se proporcionan preferiblemente con un ranurado interior tales como un roscado para proporcionar un mejor agarre con el polímero que cubre la cuerda de acero. Por lo tanto, “espesor de la pared” de los manguitos se entiende que incluye los picos internos de la rosca. Además, el manguito puede tener un espesor de pared variable - por ejemplo más delgado en los extremos, más grueso en el medio - para una mejor penetración del polímero.

Hay muchas aleaciones conocidas de materiales de la matriz metálica que son adecuados para su uso con un sistema de revestimiento de láser. Dadas las limitaciones impuestas por las aleaciones, partículas abrasivas con temperaturas de fusión entre 400 °C y 900 °C son más preferidas. Estas aleaciones comprenden plata, cobre, níquel o cobalto como elemento principal de la aleación. Además, elementos de reducción de la temperatura de fusión, tales como el estaño, zinc o incluso indio se pueden añadir. En el caso de níquel no metales como el fósforo, silicio o boro se puede utilizar para reducir la temperatura de fusión.

Particularmente preferidas son soldaduras fuertes (cobre y zinc como elementos principales) y bronce (cobre y estaño como elementos principales) siendo este último el más preferido. Otras aleaciones preferidas son con base de plata tales como Ag-Cu, Ag-Cu-Zn o Ag-Cu-In. También son preferidas las aleaciones con base de níquel tales como Ni-Cr-P, Ni-Cr-Fe-Si-B, o Ni-Cr-Si-Mn. Estas aleaciones dan un buen equilibrio entre el uso abrasivo y el desgaste de la matriz. Si la matriz se desgasta demasiado rápido, se desalojaron las partículas abrasivas, mientras que no se está utilizando al completo, conduciendo a un desgaste prematuro de la herramienta. A la inversa, si la matriz es demasiado resistente al desgaste, las partículas abrasivas no sobresaldrán suficientemente para el corte lo que resulta en velocidades de serrado demasiado bajas.

Los más preferidos son aleaciones que contienen un metal activo adicional tal como cromo, titanio, vanadio, tungsteno, circonio, niobio, molibdeno, tantalio, hafnio o sus combinaciones. Más preferidos son el cromo, circonio, vanadio o titanio de los cuales el que más se prefiere es el último, ya que tiene el punto de fusión más bajo. Estos metales son activos en dos formas:

- Son conocidos para mejorar la humectación de las partículas abrasivas durante la deposición y;
- Son formadores de carburos que funcionan bien en combinación con abrasivos que contienen carbono (véase más adelante).

La mayoría de los bronce preferidos contienen entre 5 y 30 % en peso de Sn, entre 0,5 y 15 % en peso de Ti, siendo el resto cobre. Los mejores resultados se obtuvieron con bronce que tienen entre 10 y 20 % en peso de Sn y entre 2 y 10 % en peso de Ti, siendo el resto cobre. Un ejemplo es una aleación que contiene 14 % de Sn, 8 % de Ti, siendo el resto cobre, todo expresado en porcentaje en peso del total.

Partículas abrasivas posibles son diamante, nitruro de boro cúbico, carburo de silicio, óxido de aluminio, nitruro de silicio, carburo de tungsteno, carburo de titanio o mezclas de los mismos. Las partículas que contienen carbono - diamante, carburo de silicio, carburo de tungsteno, carburo de titanio o mezclas de los mismos - son más preferidas, ya que son fácilmente humectables por todos los metales activos mencionados. Los nitruros (nitruro de boro cúbico, es decir, el nitruro de silicio) se humedecen con mejor titanio. El más preferido es el diamante (es decir, carbono casi puro), ya sea hecho por el hombre o natural, siendo el primero más preferido por su menor coste.

Como alternativa a la adición de un metal activo en el material de la matriz metálica, el metal activo también se puede proporcionar en la superficie de los abrasivos, por ejemplo, en el caso del diamante. Las partículas de diamante recubiertas con un revestimiento que contiene tungsteno, cromo o titanio están disponibles.

5 Cuando no está presente un metal activo en el material de la matriz metálica o en las partículas de abrasivo, las partículas abrasivas no se humectan fácilmente con el metal fundido. Esto conduce incluso al “rebote” de las partículas abrasivas en el menisco de la piscina de metal fundido cuando impactan en la piscina de metal.

10 En partículas generales con un tamaño entre 100 μm y 600 μm se puede utilizar en el método. Partículas para el corte de piedra son preferentemente de grano grueso, es decir, con una amplia gama de tamaños de malla de los EEUU 30/40, tamaño de malla 40/50 o tamaño de malla 50/60 (los tamaños de malla están de acuerdo con el Estándar de EE.UU. ASTM 11, cuanto mayor sea el número, menores serán las partículas). Los más preferidos para los granos de sierra es el tamaño de malla 40/50. Un tamiz de malla 40 tiene aberturas cuadradas de 420 μm de lado donde pasan a través partículas de menor tamaño. Parte de esas partículas más pequeñas se retendrán por el tamiz de malla 50 con aberturas cuadradas de 297 μm 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 (Federation of European Producers of Abrasives) que asigna un tamaño medio para cada tamaño de malla.

15 La densidad de los abrasivos es generalmente menor que la densidad de los materiales de la matriz metálica que son favorecidas: por ejemplo, generalmente los bronce tienen una densidad de 8-9 g/cm^3 mientras que el diamante solamente tiene una densidad de 3,5 g/cm^3 . Dado que las partículas abrasivas son relativamente grandes y su mayor fuerza de flotación no se ve obstaculizada por el flujo viscoso, las partículas flotan hacia la superficie en la piscina de metal fundido. Cuando el tamaño de las partículas es menor que alrededor de 100 μm , la viscosidad del metal fundido prevendrá que floten hacia la superficie, de modo que la distribución de los diamantes es congelada “en su lugar”. Por tanto, es un problema tener las partículas abrasivas de mayor tamaño distribuidas uniformemente por todo el volumen del material: “el problema de la distribución de partículas”. Los inventores han resuelto este problema mediante el depósito de varias capas superpuestas una encima de la otra por lo que el espesor medio de cada capa es de entre 0,1 a 5 veces o de 0,5 a 3 veces o de 1 a 3 veces el tamaño medio de las partículas abrasivas. En cada pista el diamante tiende a flotar hacia arriba, pero la congelación de la aleación de metal es lo suficientemente rápida tal que la pista se solidifica antes de la siguiente pista se deposite en la parte superior. Esto resulta en una distribución uniforme de las partículas en dirección radial.

30 Sección de caracterización del grano

Según la invención, la perla tiene un manguito metálico tubular rodeado por una capa abrasiva que comprende partículas abrasivas embebidas en un material de la matriz metálica, dicho material de la matriz metálica teniendo una microestructura dendrítica en una sección transversal metalográfica.

35 Perlas hechas por el procedimiento mencionado anteriormente muestran una metalografía distinta en comparación con perlas obtenidas mediante el procesamiento conocido de sinterización (véase el párrafo [6]). Las capas depositadas por medio de revestimiento de láser pueden mostrar diferentes estructuras metalográficas en función del material de la matriz metálica, el gradiente de temperatura en la interfase líquido-sólido y la velocidad de solidificación. Por ejemplo, una velocidad de solidificación baja y un alto gradiente de temperatura pueden dar como resultado una estructura plana con aleación uniforme de los elementos metálicos. La reducción del gradiente de temperatura a la misma velocidad de solidificación puede resultar en un tipo celular de estructura en la que una fase se mantiene en células de otra fase que tiene un punto de fusión más bajo.

45 La estructura preferida de acuerdo los inventores para su uso en una perla de sierra es una estructura metalográfica dendrítica (“a modo de árbol”) que se obtiene con tasas suficientemente altas, pero no demasiado altas de enfriamiento y una velocidad circunferencial mínima. En las condiciones de revestimiento de láser preferidas, los componentes de las aleaciones de metales en el baño de fusión no tienen la oportunidad de llegar a un equilibrio térmico. Debido a la presencia de un gradiente de alta temperatura espacial, la creciente fase sólida buscará la forma más eficaz para expulsar componentes de soluto superfluos en el líquido por delante con el fin de satisfacer la fase intermetálica preferida del sólido. Esta eyección resulta ser más eficaz si el sólido crece en forma de un árbol así entonces hay más superficie disponible para expulsar el soluto. El tallo y las ramas del árbol, por lo tanto se pueden formar por una fase intermetálica con una alta temperatura de solidificación mientras que la fase interdendrítica será una fase o componente intermetálico con un punto de solidificación más bajo. Al aumentar la velocidad de solidificación, que es proporcional a la velocidad circunferencial “ v_i ”, - la microestructura puede ser refinada. La finura de la microestructura también se considera que contribuye a la dureza y resistencia al desgaste de las capas revestidas de láser: a más fina es la estructura más alta es la resistencia al desgaste. Ver “Laser Cladding” de E. Toyserkani, A. y S. Khajepour Corbin, capítulo 6, de 2005, CRC Press, ISBN 0-8493-2172-7.

60 La finura de la microestructura es específicamente importante para las perlas de sierra dado que el material de la matriz metálica debe desgastarse en concordancia con el desgaste de los diamantes. El uso de materiales microestructurales de tipo totalmente aleados o celulares obtenidos mediante plaqueado láser dará lugar a matrices de metal muy suaves que no son aptas para el propósito. La finura de la estructura puede, por ejemplo, cuantificarse midiendo la mayor característica de la estructura dendrítica, tales como el “tallo” del árbol en un número de fotogramas tomados de una sección transversal metalográfica. A partir de una pequeña ampliación (10 X) se identifica la estructura más grande. La ampliación se aumenta de tal manera que el comienzo y el final del tallo son

visibles en un fotograma. El tallo debe ser visible de forma ininterrumpida en una sola vista. La distancia de extremo a extremo se puede medir por el software de imágenes apropiado. Preferentemente la longitud máxima del tallo obtenida en diez fotogramas diferentes permanece por debajo de 300 μm dado que de lo contrario la estructura se vuelve demasiado blanda. Incluso más preferido es que estos tallos sean más cortos que 200 o 100 μm o incluso más cortos que 50 μm . Normalmente los tallos se pueden observar hasta una longitud de aproximadamente 5 a 10 μm . Si la longitud máxima del vástago encontrado es inferior a 1 m, la estructura ya no se considera dendrítica para el propósito de esta solicitud.

El material de la matriz metálica se elige de acuerdo con las opciones especificadas en el párrafo [53] a [56].

Una ventaja adicional de la utilización de la técnica de revestimiento de láser es que una capa de unión metalúrgica 207 se forma entre el manguito de metal y la capa de abrasivo. Esto elimina la necesidad de soldar la capa de abrasivo al tubo. Los inventores encontraron que era perfectamente posible obtener una buena unión con las aleaciones de revestimiento previstas: no hay necesidad de revestir primero el sustrato con una capa de adhesión de diferente composición de la de la capa abrasiva. Por lo tanto, la aleación que se forma en la capa de unión metalúrgica 207 entre el manguito metálico tubular y la capa de abrasivo se compone solo de los componentes de metal del manguito y los componentes de metal de la capa abrasiva.

La adherencia de la capa abrasiva puede ser probada por cizallamiento de la capa abrasiva del manguito en un ensayo de tracción axial. La fuerza de corte necesaria para tirar de la capa abrasiva del manguito cuando se relaciona con el área de superficie común entre la capa de abrasivo y el manguito debe ser al menos 30 N/mm^2 o, preferiblemente, más de 50 N/mm^2 . Se han alcanzado fuerzas de desprendimiento de 70 N/mm^2 o más de 100 N/mm^2 .

Ventajosamente algunas de las partículas abrasivas pueden - como máximo - penetrar en la capa de unión metalúrgica. Dado que las partículas abrasivas están presentes incluso en estrecha proximidad del manguito o incluso en el manguito, esto permite que las perlas se puedan usar hasta que la capa abrasiva se desgasta casi hasta el manguito. En las perlas de la técnica anterior esto no es posible debido a la utilización de una soldadura entre el manguito y la capa abrasiva que tiene una cierta distancia radial del diámetro de la perla.

La capa de unión puede mantenerse muy delgada. De preferencia la capa de unión es menos de la mitad o incluso un tercio del espesor de la pared del manguito tubular. En una escala absoluta, se prefiere que la capa de unión sea más delgada que 200 μm o 150 μm , o más delgada que 100 μm , aunque se han obtenido buenos resultados con capas de unión metalúrgicas más delgadas de 50 μm , como un espesor de alrededor de 20 a 10 μm . Capas de unión demasiado delgadas - más delgadas que 0,1 μm - darán lugar a una fuerza de retención reducida de la capa abrasiva al manguito y dará lugar a un fallo prematuro de la perla.

Las partículas abrasivas preferidas son las descritas en el párrafo [57] a [58] con tamaños como se menciona en el párrafo [60] a [61]. La cantidad de partículas abrasivas presentes en la capa abrasiva depende del material que se va a serrar con la perla y el tipo de partículas abrasivas. En general se necesita una cantidad de 10 a 2000 mg/cm^3 tomada en relación con el volumen de la capa abrasiva. Más preferida es de 10 a 1000 mg/cm^3 . En el caso de diamante esto se expresa en quilates como 0,05 a 10 ct/cm^3 (1 quilate, "ct" es de 200 mg), o incluso 0,05 a 5,0 ct/cm^3 . Para diamante esto equivale a 0,28 a 57 % o 0,28 a 28 % en volumen de la capa abrasiva.

También se pueden utilizar las mezclas de partículas abrasivas. Mezclas particularmente preferidas de las partículas abrasivas son de diamante con [carburo de tungsteno o carburo de silicio] o nitruro de boro cúbico con [carburo de tungsteno o de nitruro de silicio].

Una realización particularmente preferida de la perla de sierra es una donde parte de las partículas abrasivas sobresalen de la superficie exterior de la perla. Preferiblemente, las partículas se mantienen en una capa de retención del material de la matriz metálica. Las partículas abrasivas sobresalen entre 0,5 y 0,1 veces su tamaño medio de la superficie circundante de la perla. Las partículas que sobresalen demasiado no pueden ser lo suficientemente sostenidas por la capa de retención de la matriz metálica. Cuando las partículas abrasivas están enterradas demasiado profundamente en el material de la matriz metálica no están fácilmente disponibles para el aserrado. La capa de retención es preferentemente más delgada que 0,5 o incluso más preferida más delgada que 0,2 veces el tamaño medio de las partículas abrasivas. Una capa demasiado gruesa no revelará las partículas abrasivas suficientemente rápido en el primer uso. No hay mínimo de la capa de retención de la matriz metálica, dado que parte de los bordes o esquinas de las partículas abrasivas que sobresalen en realidad puede no estar cubierta en absoluto, mientras que el resto de la partícula está cubierta. Tal perla de sierra no debe ser vestida antes de su uso.

De preferencia la perla contiene un metal activo para mejorar la unión entre las partículas abrasivas y el material de la matriz metálica como se describe en el párrafo [55].

Los inventores encontraron que este metal activo también ayuda a mejorar la distribución de los diamantes a lo largo de las perlas. De hecho, las secciones transversales metalográficas (en cualquier plano que atraviesa o contiene el eje del manguito metálico tubular, por ejemplo, un plano perpendicular al eje) revelaron la presencia de capas de interfaz muy finas que son ricas en metal activo. Estas capas de interfaz son preferiblemente más delgadas que 5 μm , más preferiblemente más delgadas que 2 μm . Con "rica en metal activo" se entiende que la abundancia atómica del metal activo en la capa de interfaz es al menos dos veces la abundancia atómica global del metal activo en todo el material de la matriz metálica.

Estas capas de interfaz marcan los diferentes bucles de la pista que se depositan en una parte previamente depositada de la pista durante el proceso de revestimiento de láser. No se conoce cómo se forman estas capas de interfaz. Sin embargo, los inventores observaron que las partículas abrasivas están más presentes radialmente justo debajo de la interfaz y, en muchas ocasiones, una cara de las partículas abrasivas se humedece por el metal reactivo. Por lo tanto, las partículas abrasivas están presentes entre la capa de unión metálica y la primera capa de interfaz o entre la primera y segunda capa de interfaz (si está presente) y así sucesivamente.

Por lo tanto, se conjetura - sin estar ligado en modo alguno por esta hipótesis - que el metal activo ayuda a mantener las partículas abrasivas en el baño de fusión y preferentemente está presente en el exterior de la piscina de masa fundida. Esto no es razonable ya que los metales activos generalmente tienen una densidad menor que la de los otros componentes de la piscina de metal fundido. Después de la solidificación rápida, las partículas abrasivas se sostienen en el interior del depósito de metal en solidificación como si fueran sostenidas por una piel. De ahí que las capas de interfaz ayudan a mantener las partículas abrasivas en su lugar y evitar que floten hacia arriba. De esta manera se supera el "problema de la distribución de partículas" conocido al depositar capas revestidas de láser con partículas abrasivas relativamente grandes. La distancia media - como medida durante al menos 12 radios que no crucen una partícula abrasiva - entre la capa de unión metalúrgica y de la primera capa de interfaz o entre las capas de interfaz entre sí es preferiblemente entre 0,1 a 5 veces o de 0,5 a 3 o 1 a 3 veces el tamaño medio de las partículas abrasivas.

Cuando, durante la deposición de la pista, hay un movimiento axial relativo entre el sistema de revestimiento de láser y el tubo, la pista mostrará una pista sustancialmente helicoidal enrollada sobre sí misma si el paso después de una revolución es menor que la anchura de la pista. En la perla los restos de este proceso son visibles en la inclinación de las capas de interfaz con respecto al eje de la perla. Todas las capas de interfaz están inclinadas sustancialmente en la misma dirección. Las capas de interfaz forman una hélice cónica. Por supuesto, las interfaces no son suaves, pero esta inclinación general está presente y es rastreadable.

Si se utilizan partículas abrasivas que son revestidas previamente con un revestimiento de metal activo, este revestimiento de metal activo permanece discernible sobre la partícula abrasiva en la perla. A medida que estos metales activos muestran una gran afinidad a uno o más elementos de la partícula abrasiva (véase el párrafo [58]), esto mejora en gran medida la adhesión de la partícula abrasiva al material de la matriz metálica.

Según un tercer aspecto de la invención, se reivindica una cuerda de sierra 400 (figura 4) que comprende una cuerda de acero 408 y al menos una perla 404, según la reivindicación 1. La cuerda de sierra 400 comprende además una camisa de polímero 402 para mantener las perlas 404 en su lugar. Una cuerda de este tipo puede ser producida de la manera convencional o de la manera como se describe en el documento PCT/EP2010/067527.

Cuando se produce de acuerdo con el último método, al menos una perla de la cuerda de sierra tendrá un manguito metálico tubular con la característica de que al menos una conexión para el cierre del manguito alrededor de la cuerda de acero está presente en el manguito, además de todas las otras características reivindicadas.

Una forma particularmente preferida de la utilización de las perlas es cuando la perla 404 es, durante el uso de la cuerda de sierra, impulsada en la dirección 406 como se indica por la inclinación de las capas de interfaz. En pocas palabras: las capas de interfaz inclinadas forman una flecha que indica cómo el grano se debe utilizar de manera preferente. Esta dirección es particularmente preferida dado que las capas de interfaz no se ven afectadas por la entrada en la pieza de trabajo 410 que es aserrada.

Breve descripción de las figuras en los dibujos

La figura 1 muestra un principio de funcionamiento de un sistema de revestimiento de láser.

La figura 2a a la figura 2e muestran las diversas etapas en el método para producir la perla.

La figura 3a a la figura 3d muestran varias realizaciones alternativas del método para producir la perla.

La figura 4 explica cómo se utiliza mejor la perla en la práctica.

Las figuras 5a y 5b muestran una sección transversal metalográfica en dos ampliaciones diferentes de una perla producida por el método descrito.

La figura 6 muestra un detalle de barrido de microscopio electrónico de la perla producida por el método.

La figura 7 muestra una sección transversal de la capa abrasiva de la perla, lo que indica diversas características de interés.

La figura 8 es una sección transversal esquemática de una perla de sierra producida por el método de revestimiento de láser.

Las figuras 9a y 9b son imágenes individuales de una exploración tomográfica de micro ordenador de la perla.

Las figuras 10a, 10b y 10c muestran diferentes disposiciones de las capas en la perla.

5 Modo(s) para llevar a cabo la invención
A continuación, solo se describirá el modo más preferido para la práctica de la invención dado que numerosos experimentos tuvieron que ser realizados antes de que se llegara estas condiciones.

10 En una serie de ensayos se utilizó el siguiente tipo de equipo:

- Sistema de revestimiento de láser

- laser de diodo “Laserline LDF 3 kW” que opera a 1300 W en modo continuo a una longitud de onda de 1030 μm .
- pistola láser “Balliu” hecha por Laserline GmbH con alimentación coaxial de polvo;
- tolva de polvo Medicoat Duo
- Suministro de gas: argón.

20 Tanto el material de la matriz metálica como las partículas abrasivas se alimentaron a través del mismo flujo de gas argón. La pistola láser se utiliza en la posición vertical con el rayo láser y el flujo de gas asociado en la dirección hacia abajo.

- El sistema de revestimiento de láser se puede mover en la dirección axial del torno hasta una velocidad de 3,2 mm/s.

25 La velocidad de alimentación de las partículas se mantuvo constante en todos los experimentos posteriores, lo que resulta en un constante flujo de material “ Φ_m ”.

Como un sustrato, se utilizó un manguito con una conexión soldada, hecha de acero de bajo carbono (0,067Wt % C) con un diámetro interno de 3,8 mm y un diámetro exterior de 4,95 mm (espesor de pared 0,575 mm), con una longitud de 10 mm. El sustrato se llevó a cabo entre las piezas de formación de latón pulido. A través del manguito se insertó una cuerda de acero galvanizado de 19 + 6 x 7 de diámetro 3,75 mm y se movió lentamente a través durante revestimiento de láser.

Como materiales se utilizaron los siguientes:

- material de la matriz de metal: polvo de bronce con la composición nominal Sn 14 % en peso, Ti 8 % en peso, siendo el resto Cu (e impurezas inevitables). El tamaño del polvo era menor que 75 μm .
- partículas de diamante artificiales de malla 40/50 con un tamaño medio medido de 415 μm .

40 En primer lugar, el torno se inició para hacer que el manguito gire en alrededor de 0,25 segundos para una rotación completa (período de rotación “T”) que se traduce en una velocidad de pista de 6,3 mm/s. El foco del láser, con un tamaño de punto de 3,8 mm, se fijó a aproximadamente 7 mm por encima de la superficie del manguito. El flujo de material se calentó, por lo tanto, ya antes de golpear el manguito.

45 La alimentación de polvo material de la matriz se fijó en 65 % con una velocidad de flujo de gas de 4 litros/min, la alimentación de las partículas abrasivas se fijó en 25 % con una velocidad de flujo de gas de 5 litros/min. Después de la ignición del láser un baño de fusión de metal formado y partículas de diamante se inyecta en el metal fundido como se pudo observar con una cámara de alta velocidad. No se produjo eyección de partículas de diamante fuera de la piscina de metal fundido. La anchura de la pista formada fue de 4,0 mm.

50 El movimiento axial entre la pistola y tubo de láser era la siguiente:

Intervalo de tiempo (en segundos)	Velocidad axial relativa (mm/s)	Fracción de superposición Q (en %)	Número de vueltas
00,00 a 1,10	0	100	4,4
10,10 a 1,51	3,2	80	1,6
10,51 a 2,55	2,4	85	4,2
20,55 a 2,64	3,2	80	0,4
20,64 a 3,64	0	100	4,0

55 Después de la interrupción con el sistema de revestimiento de láser, la superficie se igualó empujando un rodillo de latón contra el material aún caliente mientras se estaba dando la vuelta. Esto mejora en gran medida de la geometría de la perla.

Después del enfriamiento final, el mandril se abrió y la perla así formada se formó sobre la cuerda de acero de soporte. El daño por calor a la cuerda de acero resultó ser aceptable. La cuerda todavía se podrá desplazar sobre la cuerda de acero. Varias perlas se hacen de acuerdo este procedimiento y resulta ser adecuado para la automatización.

El espesor total de la capa de abrasivo sobre la perla formada de este modo fue de 1,53 mm (es decir, 2.7 veces el espesor de la pared del manguito) que resulta en una perla con un diámetro exterior de 8,0 mm y con una longitud axial total de la capa abrasiva de 6 mm. La masa total de la perla fue de 1,7 gramos de los que el manguito tiene 0,64 gramos. Como solo están cubiertos 6 mm de la longitud total de 10 mm del manguito, la "masa del tubo cubierta por la capa abrasiva" es de 0,38 gramos. La capa abrasiva tiene una masa de 1,06 gramos, que es 2,79 veces la masa de la masa de tubo cubierta por el manguito abrasivo. Las perlas tenían una concentración de diamante de entre 1,86 a 2,00 quilates/cm³ (masa sobre el volumen).

En una sección transversal metalográfico, las perlas obtenidas por revestimiento de láser mostraron una estructura metalúrgica distinta en comparación con lo que se conoce a partir de perlas obtenidas a través de sinterización. Esta estructura se muestra en las figuras 5a y 5b, que son secciones transversales pulidas de un corte del grano en un plano que comprende el eje del plano. Como agente de ataque se puede utilizar la siguiente:

- 10 ml de ácido fluorhídrico 40 %, 5 ml de ácido nítrico 65 % en 85 ml H₂O y;
- 10 g de hidróxido de sodio, 5 ml de peróxido de hidrógeno 30 % en 100 ml H₂O.

La figura 5a muestra una fotografía de la superficie grabada con una ampliación de 100 X. La barra "200 μm" marca el verdadero tamaño de las características. El fondo inferior de la fotografía se corresponde con el sustrato. Las estructuras dendríticas son visibles en toda la imagen. Un ejemplo de una estructura dendrítica (muy parecida a un helecho) se indica por 502. Un tallo es discernible con diferentes ramas perpendiculares al mismo a los lados. El tallo más largo discernible es de aproximadamente 200 μm de extremo a extremo. Además, son visibles capas de interfaz de las cuales 508 es un ejemplo. Otra capa de interfaz es visible en la esquina superior derecha de la fotografía.

La figura 5b es una ampliación de 1000 X de la misma sección transversal, como se indica por la barra de los "20 μm" que muestra la verdadera longitud de las características. Una vez más una capa de interfaz 510 permanece visible. La estructura en forma de árbol se resuelve en color tallos, ramas y hojas blancos en donde es visible entre una fase diferente, más oscura, interdendríticas. Por lo tanto, la estructura muestra una estructura auto-similar en al menos estos dos aumentos.

La figura 6 muestra una imagen de microscopio electrónico de barrido (SEM) en el aumento indicado por la barra de "90 μm". Una partícula de diamante 602 es claramente visible. El material de la matriz 604 muestra una vez más la típica estructura dendrítica. Una capa de interfaz 608 corre en diagonal a través de la imagen y toca la superficie del diamante en 610. El análisis de rayos X de energía dispersiva (EDX) revela que la capa de interfaz es rica en titanio, con más del doble de la concentración mayor de titanio (en porcentaje en peso). Cuando la capa de interfaz toca el diamante (en 610) los espectros de la EDX revelan la formación de carburo de titanio.

La figura 7 también muestra una imagen SEM de una sección transversal axial. Una vez más son discernibles diferentes capas de interfaz 706, 708 y 702 de una partícula de diamante. Es un ejemplo de la observación de que las partículas de diamante tienden a estar presentes radialmente justo debajo de las capas de interfaz. Es como si los diamantes se mantienen en posición por la capa de interfaz. Por lo tanto, los diamantes están presentes entre las capas de interfaz. Los números de 245,35, 394,70, 346,71 y 320,28 μm son los espesores de las diferentes capas formadas en el material de la matriz 704. Tenga en cuenta que el espesor de 394,70 μm de la capa es de entre 0,5 y 3 veces el tamaño del diamante 702 que contiene. Más importante es que la imagen muestra la capa de unión metalúrgica 710 con un espesor de 20 a 30 μm. La EDX pone de manifiesto que la capa de unión metalúrgica es una mezcla de los elementos metálicos presentes en el manguito y el material de la matriz metálica.

Ensayos de tracción axial en los que la capa abrasiva se mantiene en una abrazadera en forma de U (sin presión radial) y el manguito se extrae por medio de un perno mostraron fuerzas de 8357 N y 10359 N antes de que el manguito se retirara. Pruebas comparativas sobre perlas de la técnica anterior mostraron valores de 5 a 12 kN. En relación con el área de la superficie común entre el manguito y la capa abrasiva esto es una fuerza de cizallamiento de 89 N/mm² y 110 N/mm² respectivamente.

La figura 8 muestra una transversal esquemática de una de las perlas hechas. Diamantes 802 sobresalen de la superficie en el entorno inmediato del diamante. Los diamantes que sobresalen de la superficie 802 están enterrados más de 0,5 veces de su tamaño en el material de la matriz tomado en relación de metal a su entorno inmediato. Los diamantes están cubiertos en parte o completamente por una capa de retención 820 de material de la matriz metálica. Los diamantes que sobresalen hacen superflua la necesidad de una etapa de vestido. Además, se indica la capa de unión metalúrgica 810 que une la capa de abrasivo 804 al manguito 810. Los diamantes están presentes entre las capas de interfaz 808 y el espesor de las capas entre dichas capas de interfaz es de entre la mitad a dos

veces el tamaño medio de los diamantes.

5 La figura 9a muestra una sección transversal de una perla con un plano perpendicular al eje de la perla como se obtiene en una exploración de tomografía computarizada micro (μ CT). La imagen revela claramente la redondez geométrica de la perla y la distribución uniforme radial de los diamantes por toda la capa abrasiva. Esto es notable en que, aunque los diamantes son aproximadamente de 400 a 500 μ m de tamaño, no parecen sufrir de la fuerza de flotación que tiende a empujarlos a la superficie. Los inventores hipotéticamente atribuyen esto a la deposición de capas de la capa de abrasivo, posiblemente en combinación con el hecho de que las capas interfaciales de metal activo impiden que los diamantes floten hacia arriba de ese modo la captura del diamante en esa capa. De esta manera se resuelve el "problema de la distribución de partículas".

10 La figura 9b es otra impresión de una sección transversal de la perla que muestra que los diamantes están presentes a la capa de unión metalúrgica. Parece que hay una tendencia a que los diamantes estén dispuestos en capas que se pueden atribuir a las diferentes capas de deposición.

15 Algunas perlas se sometieron a una única prueba de corte del grano tal como se describe en "Progress in the knowledge of granite cutting with diamond wire" de A. Bortolussi, A. Caranassios, R. CICCUCI, R. Lassandro, PP Manca y G. Massacci en los "Proceedings of the 11th International conference on Ground Control in Mining", Universidad de Wollongong, julio de 1992. En esta prueba una única perla se empuja contra el lado exterior de un disco de piedra de rotación (un disco de granito con un diámetro de 30 cm y una anchura de 3 cm) con una fuerza normal de 5 N. La velocidad periférica es ajustable entre 20 a 30 m/s. La perla también se hace girar alrededor de su propio eje con aproximadamente 1 rotación por segundo. El agua se inyecta entre la perla y la piedra como refrigerante. El desgaste de la perla se midió como una función de la zona aserrada. El aserrado se continuó hasta que la perla se desgasta hasta el manguito.

20 Los siguientes resultados se obtuvieron en comparación con las perlas disponibles en el mercado:

	Perla de la técnica anterior	Perla inventiva
Diámetro exterior inicial (mm)	7,1(*)	7,1
Diámetro exterior final (mm)	6,6	6,55
Superficie aserrada (cm ²)	550	600
Velocidad media de la sierra (mm/min)	0,25 a 0,50	0,50 a 1,00
(*) La perla se vistió antes de comenzar la prueba		

REIVINDICACIONES

- 5 1. Una perla para su uso en una cuerda de sierra, dicha perla teniendo un manguito tubular metálico rodeado por una capa abrasiva (206) que comprende partículas abrasivas (102) incrustadas en un material de matriz metálica (104) caracterizada por que dicho material de matriz metálica (104) tiene una microestructura dendrítica en una sección transversal metalográfica.
- 10 2. La perla de acuerdo con la reivindicación 1, en la que entre dicha capa abrasiva (206) y dicho manguito metálico tubular está presente una capa de unión metalúrgica (710, 810) que consiste en los metales de dicho material de matriz metálica (104) y dicho manguito metálico tubular.
- 15 3. La perla de acuerdo con la reivindicación 2, en la que parte de dichas partículas abrasivas (102) penetraron en dicha capa de unión metalúrgica (710, 810).
4. La perla de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 2 o 3, en la que dicha capa de unión metalúrgica (710, 810) es más delgada que la mitad del espesor de dicho manguito metálico tubular.
- 20 5. La perla de acuerdo con la reivindicación 4, en la que dicha capa de unión metalúrgica (710, 810) es más delgada que 200 μm .
- 25 6. La perla de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, en la que la fuerza de corte para estirar dicha capa abrasiva (206) de dicho manguito metálico tubular tomado en relación con el área de la superficie común entre dicha capa abrasiva (206) y dicho manguito metálico tubular es al menos 30 N/mm^2 .
- 30 7. La perla de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en la que dichas partículas abrasivas (102) son de diamante, nitruro de boro cúbico, carburo de silicio, óxido de aluminio, nitruro de silicio, carburo de tungsteno, carburo de titanio o mezclas de los mismos.
8. La perla de acuerdo con la reivindicación 7, en la que dichas partículas abrasivas (102) tienen un tamaño medio de entre 100 y 600 μm .
- 35 9. La perla de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en la que dicho material de matriz metálica (104) comprende al menos uno de los metales sacados del grupo de plata, cobre, níquel, cobalto, estaño, zinc, indio.
10. La perla de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en la que parte de las partículas abrasivas (802) sobresalen desde la superficie exterior de dicha perla.
- 40 11. La perla de acuerdo con la reivindicación 10 en la que dichas partículas abrasivas salientes (802) son sostenidas por una capa de retención (820) de material de matriz metálica (104), dicha capa de retención cubriendo total o parcialmente dichas partículas abrasivas salientes (802).
- 45 12. La perla de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en la que dicho material de matriz metálica (104) comprende además uno o más metales activos elegidos del grupo que comprende cromo, titanio, vanadio, tungsteno, circonio, niobio, molibdeno, tántalo y hafnio.
- 50 13. La perla de acuerdo con la reivindicación 12, en la que dicho metal activo está presente alrededor de dichas partículas abrasivas (102).
14. La perla de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 13, en la que en una sección transversal metalográfica de dicha capa abrasiva (206), están presentes una o más capas de interfaz (706, 708) ricas en dicho metal activo.
- 55 15. La perla de acuerdo con la reivindicación 14, en la que dichas partículas abrasivas (702) están presentes entre dicha capa de unión metalúrgica (710) y dicha al menos una capa de interfaz (706) o entre dichas capas de interfaz (706, 708).
- 60 16. La perla de acuerdo con la reivindicación 15, en la que la distancia media entre dichas capas de interfaz (706, 708) es de entre 0,1 a 5 veces el tamaño medio de dichas partículas abrasivas (702).
17. La perla de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16, en la que dicho manguito metálico tubular comprende además al menos una conexión para el cierre de dicho manguito.
- 65 18. Una cuerda de sierra que comprende una cuerda de acero y perlas transportadas por dicha cuerda de acero, caracterizada por que al menos una de dichas perlas cumple con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 17.

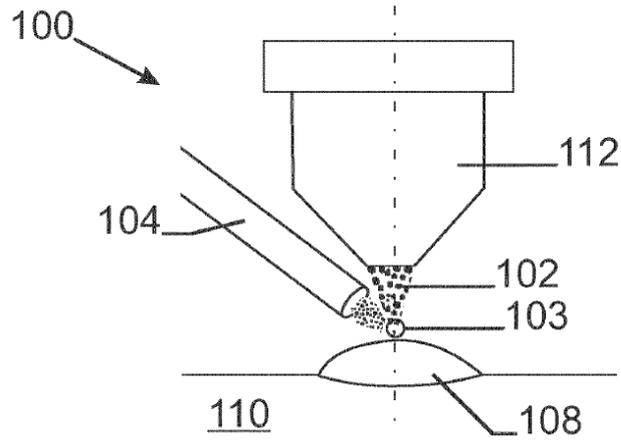


Fig. 1

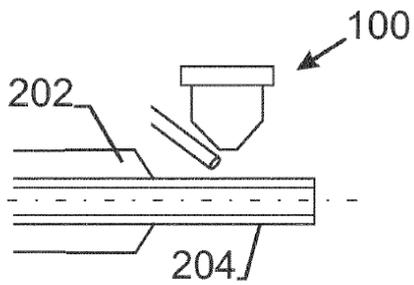


Fig. 2a

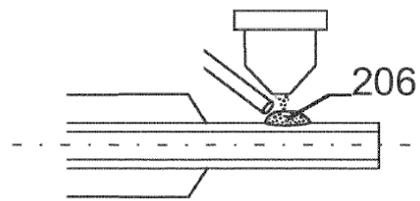


Fig. 2b

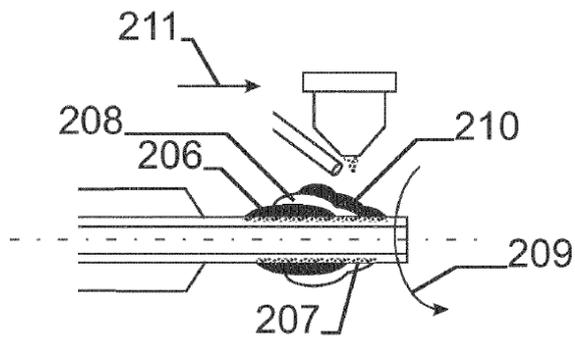


Fig. 2c

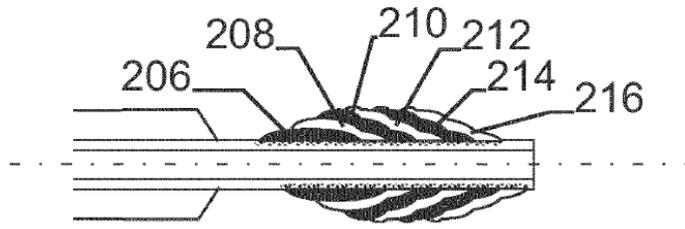


Fig. 2d

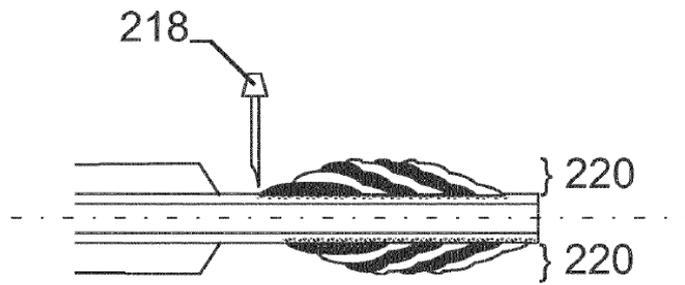


Fig. 2e

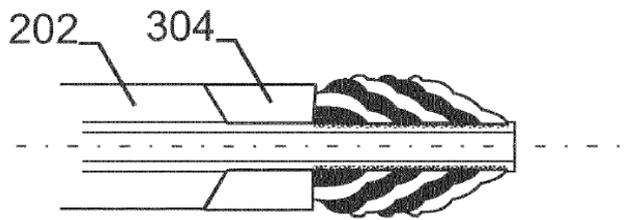


Fig. 3a

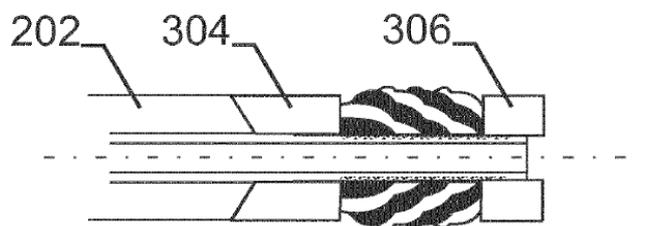


Fig. 3b

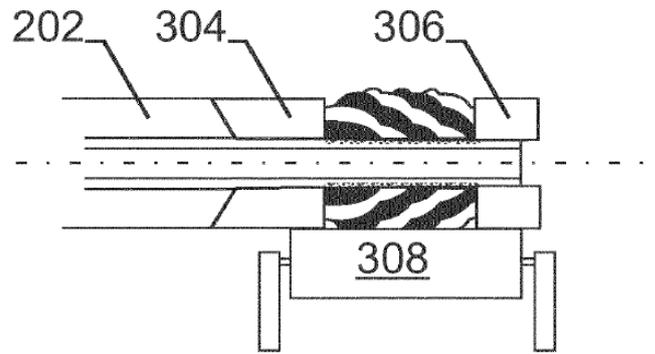


Fig. 3c

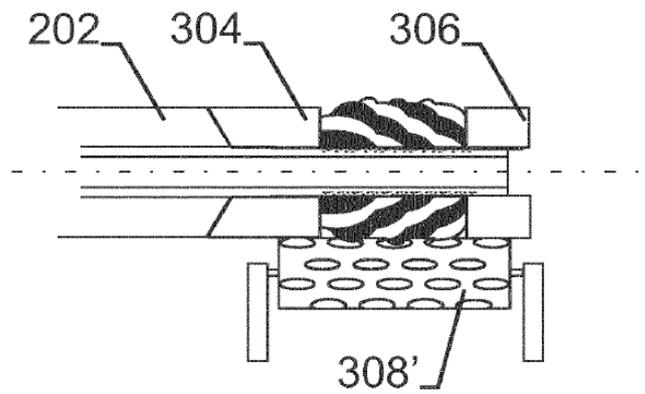


Fig. 3d

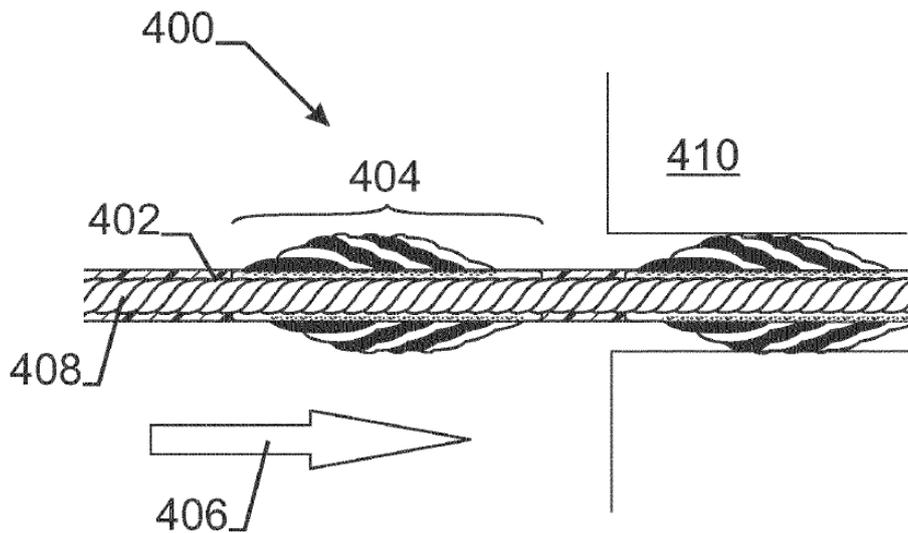


Fig. 4

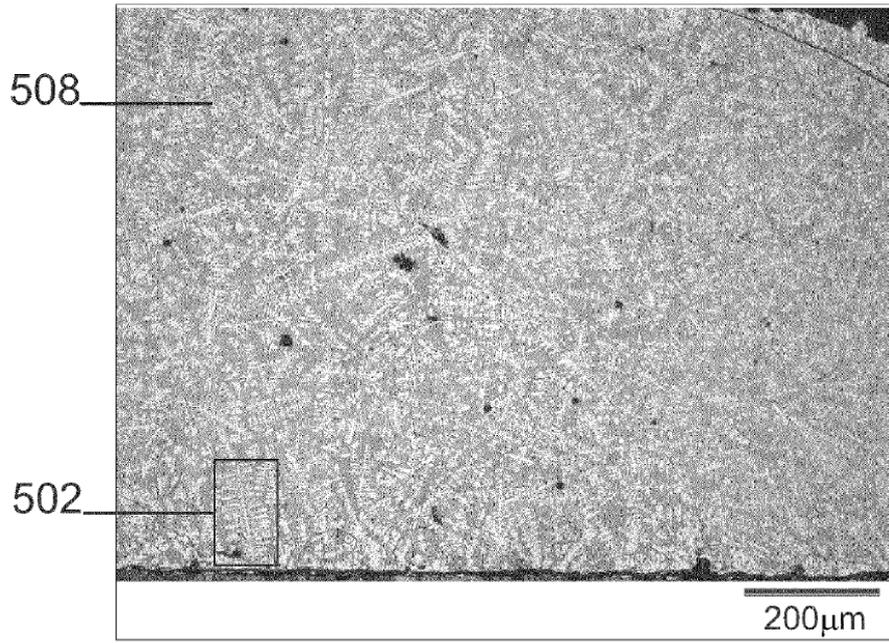


Fig. 5a

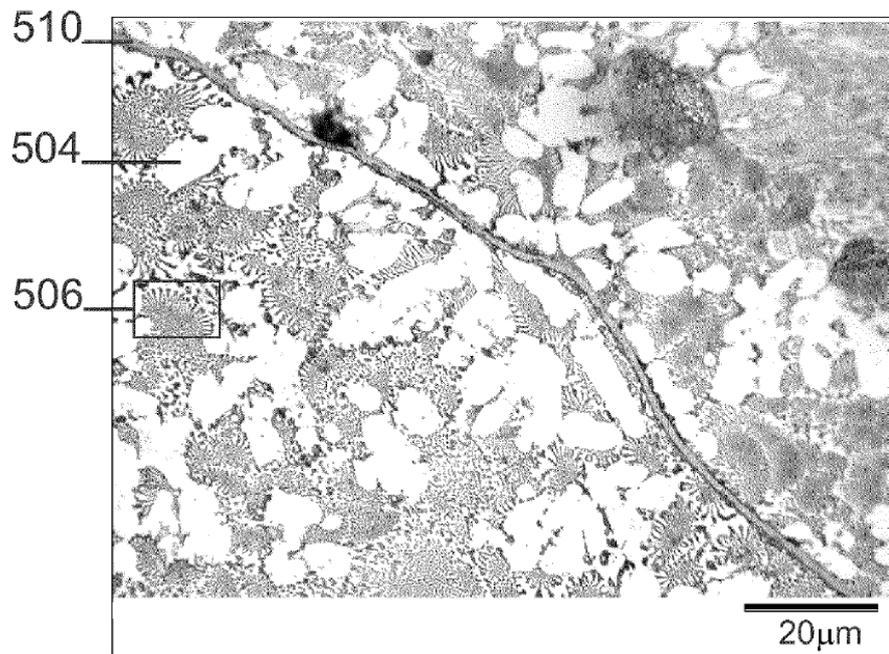


Fig. 5b

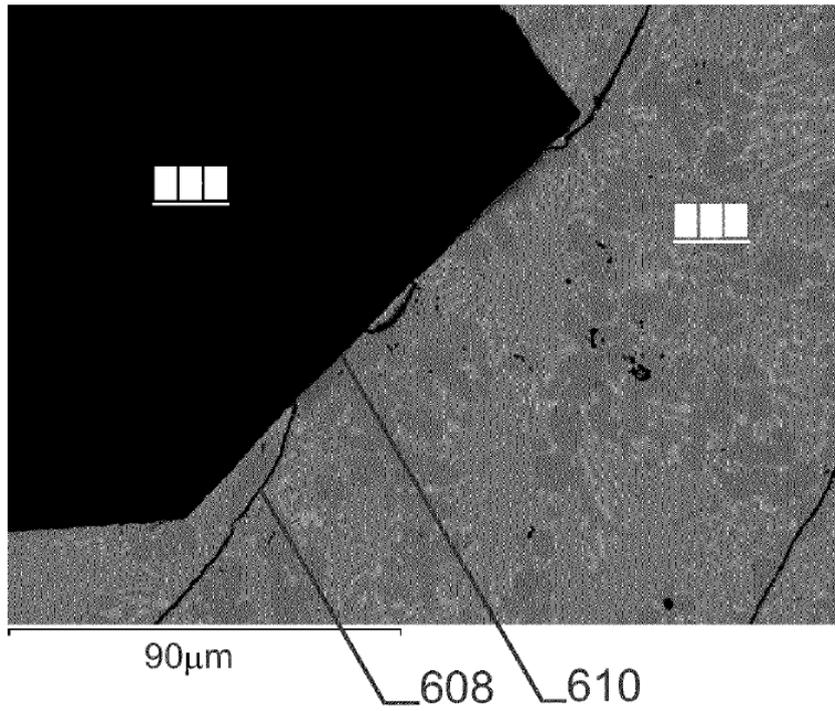


Fig. 6

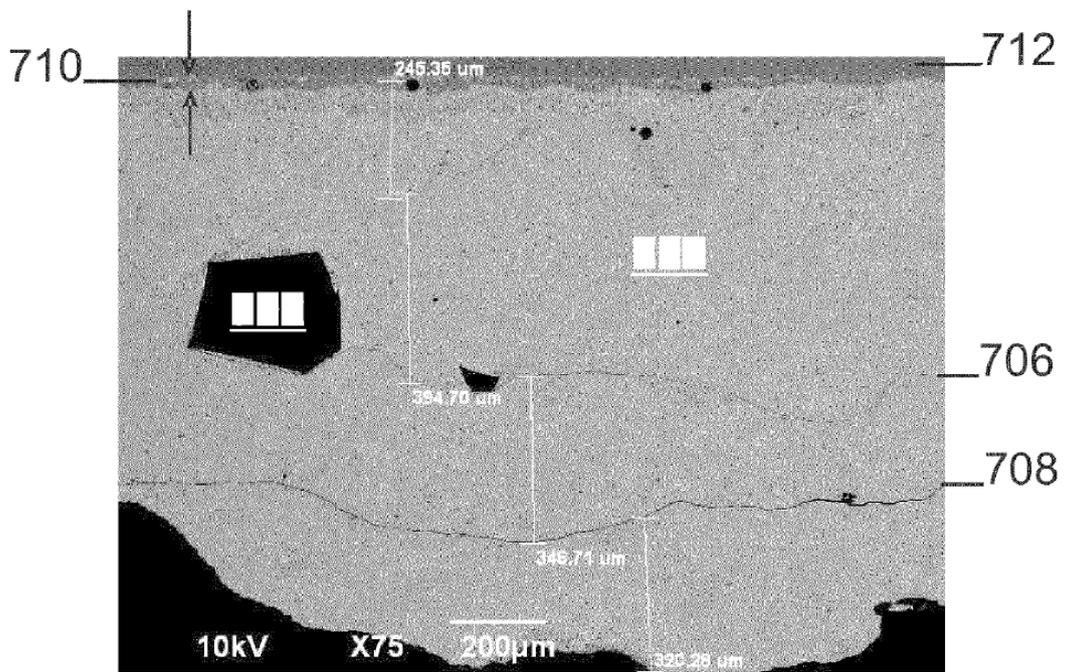


Fig. 7

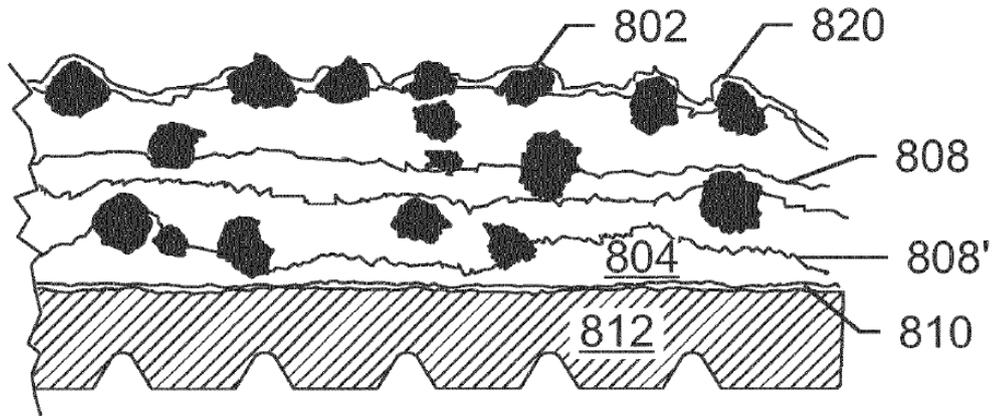


Fig. 8

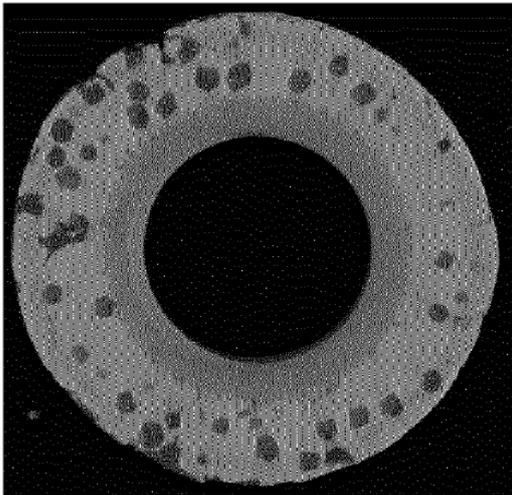


Fig. 9a

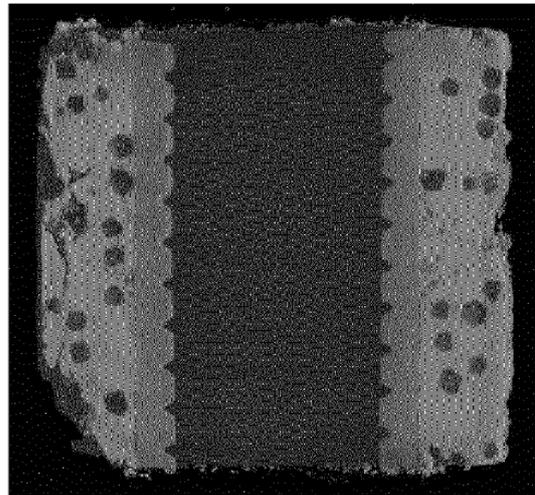


Fig. 9b

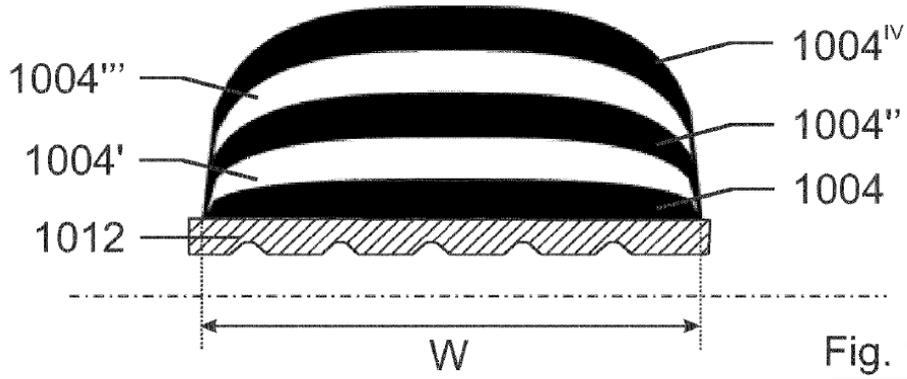


Fig. 10a

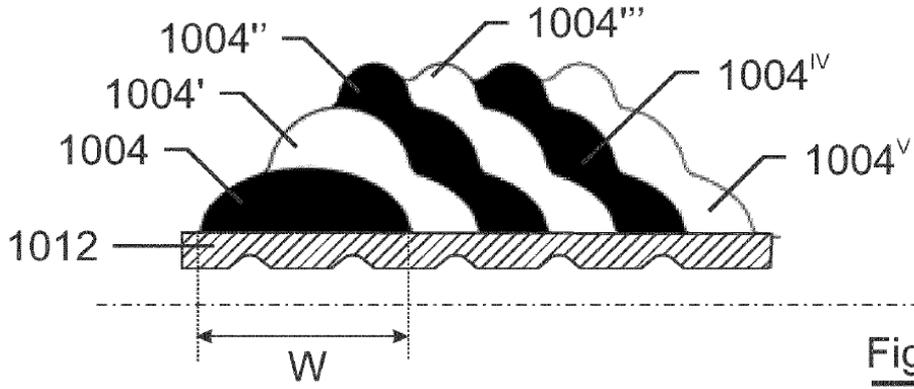


Fig. 10b

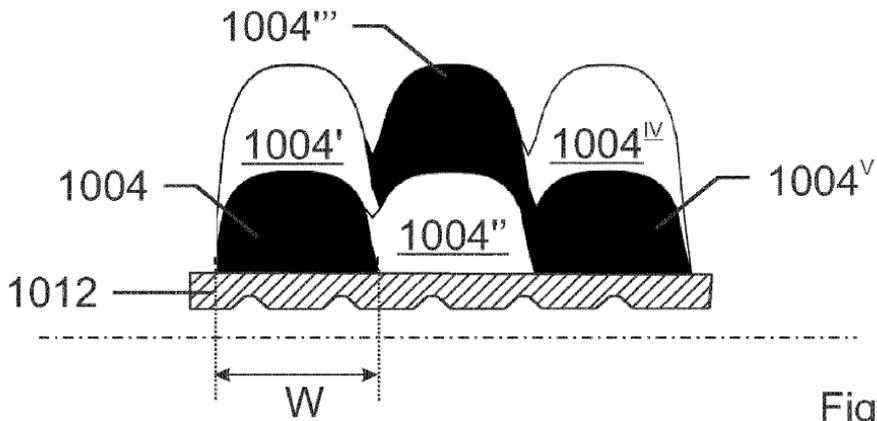


Fig. 10c