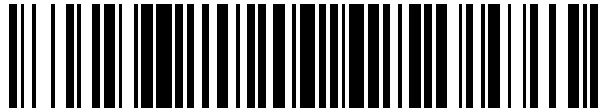


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 618 914**

51 Int. Cl.:

**B28D 1/12** (2006.01)

**B23D 65/00** (2006.01)

**B28D 1/08** (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/EP2012/053643**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.09.2012 WO2012119947**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.03.2012 E 12708801 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.12.2016 EP 2680998**

54 Título: **Método para producir un perla de aserrado**

30 Prioridad:

**04.03.2011 EP 11156982**

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

**22.06.2017**

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 2 618 914 T3

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

## DESCRIPCIÓN

Método para producir un perla de aserrado

5 Campo técnico

La invención se refiere a una perla para su uso en un cable de aserrado. Tales cables de aserrado se utilizan para cortar materiales duros y frágiles como piedra natural (mármol, granito, roca...), piedra artificial (hormigón, ladrillo,...), materiales compuestos o materiales cristalinos (silicio mono o policristalino).

10

Antecedentes de la técnica

Las perlas que tienen una capa abrasiva externa de una matriz metálica en la que está incrustada granalla de diamante parece que se describió primero en los comienzos de los años cincuenta del siglo anterior (véase, por ejemplo el documento US 2.679.839, presentado en 1952). Dichas perlas se encadenan en un cable de acero y se separan por medio de resortes (véase el documento US 2.679.839) o por medio de un material plástico (véase, por ejemplo, el documento FR 1.203.000, presentado en 1958). El material plástico también podría inyectarse entre las perlas mediante la ayuda de un molde (documento FR 1.203.000, primera adición, presentado en 1959). Las ideas de fijar el alambre directamente al cable de acero, por ejemplo, por medio de un pasador (documento GB 759.505, presentado en 1953), por medio de una soldadura (documento FR 1.265.542, presentado por primera vez en 1960) o por medio de un estampado (documento US 3.598.101, presentado por primera vez en 1968).

Inicialmente, estos cables de aserrado se usaban en sierras estacionarias, donde competían con las sierras de hojas múltiples (armazones recíprocamente accionados con láminas de acero montadas en paralelo sobre las que se montan brocas que contenían diamante) y sierras de disco circular. El cable de aserrado se fabricaba en un bucle cerrado empalmado el cable de acero como se describe, por ejemplo, en el documento US 2.773.495, presentado en 1953). Después de tensar el bucle sobre dos ruedas grandes accionadas por un motor, el cable podía usarse como una sierra. Se dispone, en el estado actual de la técnica, de máquinas en las que se accionan hasta 80 bucles paralelos entre sí para separar un bloque de piedra en una serie de losas. En un uso alternativo, tales cables de aserrado de perlas de diamante comenzaron a aparecer en las canteras a principios de los años setenta del siglo anterior, donde se usaron para la extracción de bloques.

Una serie de métodos se han explorado por los que el material abrasivo - en su mayoría de diamante - puede fijarse sobre las perlas. Existe el método de fijar los diamantes a un tubo metálico por deposición electrolítica o no electrolítica del níquel (WO 2002/40207). También existe el método de incrustar las partículas abrasivas en una soldadura que se aplica directamente sobre el manguito metálico como se describe en el documento US 7.089.925.

El método que se ha convertido en el más exitoso es a través de la trayectoria de la metalurgia de polvos (descrito ya en el documento US 2.679.839). Con este fin, se fabrica un elemento abrasivo anular de granalla de diamante que se mezcla completamente con polvo metálico y una cera orgánica opcional para formar una pasta. La mezcla de polvo metálico contiene normalmente unos componentes de alta temperatura de fusión tales como cobalto, tungsteno, hierro, níquel a veces en combinación con unos componentes de baja temperatura de fusión tales como cobre, estaño, plata para mejorar la consolidación. Posiblemente pueden añadirse compuestos tales como carburo de tungsteno para influir en la dureza y el desgaste de la perla. La mezcla se lleva a un molde. Esta preforma se sinteriza en una perla de alta densidad por aplicación de presión (mediante un prensado de pistón en el molde o por aplicación de presión isostática a través de la inmersión en un fluido de alta presión) y temperatura. Se aplican gases adecuados con el fin de evitar que el polvo se oxide durante la sinterización.

En el proceso de sinterización del 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 reducción del punto de fusión llevará a fases intermetálicas entre los diferentes componentes a través de la difusión. La sección transversal metalográfica de dicho elemento abrasivo anular muestra por lo tanto una estructura globular y/o granular. En el proceso clásico de sinterización de perlas, se prefiere en general que los tamaños de grano sean pequeños con el fin de obtener suficiente dureza del material de matriz. Este tamaño de grano puede verse afectado variando las propiedades de los polvos de partida y las condiciones para su consolidación. En cualquier caso, los granos permanecen visibles en una sección transversal metalográfica correctamente atacada y los efectos de crecimiento direccional no son visibles. Véase por ejemplo el documento "Powder Metallurgy Diamond Tools" por Janusz Konstanty, Capítulo 5, 2005, Elsevier Science Title, ISBN 978-1-85617-440-4.

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

Después de la sinterización del elemento anular abrasivo se fija 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 denomina perla. La necesidad de un tubo metálico para fijar el elemento abrasivo puede eliminarse

65

formando el elemento abrasivo lo 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:

- 5 • tienen una capa abrasiva suficientemente gruesa
- en las que los diamantes están incrustados aleatoriamente a lo largo de la capa,
- el material de matriz se desgasta al mismo ritmo que se agotan los diamantes
- mientras que el material de matriz retiene bien los diamantes y
- 10 • porque las perlas pueden reproducirse con tolerancias geométricas estrechas.

10 Después de esto las perlas se roscan en un cable de soporte de filamento de acero ('cable de acero') y posteriormente se fija por resortes o un plástico. Esta "etapa de roscado" es tediosa y consume tiempo. Como la superficie de las perlas es lisa debido al prensado en un molde, las perlas deben ser "vestidas" antes de usarse. Esto se hace normalmente usando el cable de aserrado inicialmente a baja velocidad de corte hasta que las partículas abrasivas se liberan de la superficie y se cortan mejor. Tal 'etapa de vestir' consume mucho tiempo.

20 Otro método para producir capas abrasivas está actualmente haciendo sus incursiones en el mundo de las hojas de sierra para el corte de piedra, a saber, el revestimiento láser. En el revestimiento láser, un chorro de polvo se alimenta a un haz de alta intensidad de un láser que está enfocado en la superficie del sustrato por medio de un chorro de gas portador. El polvo es una mezcla de polvo metálico y de partículas abrasivas (generalmente de diamante). El polvo se funde y forma un baño de metal fundido que solidifica y fija las partículas abrasivas.

25 El documento DE 195 20 149 A1 desvela un procedimiento para el revestimiento por láser de un sustrato en el que por medio de un molde enfriado (o calentado) puede formarse un acabado casi final de una superficie abrasiva o resistente al desgaste. El revestimiento se aplica sobre el molde después de lo cual se retira el molde. La aplicación solo trata la deposición sobre sustratos relativamente voluminosos tales como una hoja de sierra. El revestimiento se realiza en una única capa.

30 El documento WO 1999/18260 (EP 1027476) describe una herramienta de corte construida sobre un sustrato de acero con un recubrimiento abrasivo que comprende un material abrasivo incrustado en un agente humectante que contiene metal o una matriz de aleación metálica donde entre el recubrimiento 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 aserrado como un ejemplo de una herramienta de corte, esto no se ejemplifica adicionalmente en la descripción.

35 En revestimiento láser, la baja densidad de diamante en relación con 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, endkonturnaher, Metallmatrix-Verbundwerkstoffe durch Laserstrahlbeschichten" de A. Lang y H.W. Bergmann en "Material-Wissenschaften und Werkstofftechnologie", vol. 27 pág. 215-226, 1996). Una solución consiste en usar partículas abrasivas más finas en las que la flotación ascendente se retarda por la viscosidad del baño de metal. Pero para muchas aplicaciones tecnológicas - en particular el corte de piedra - las partículas de diamante finas no son una opción.

45 Otra solución se describe en el documento WO 1998/15672 donde una disposición específica del movimiento de superficie de sustrato vertical con una herramienta de revestimiento láser en dirección horizontal conduce a un aumento hacia arriba de las partículas de diamante en la dirección de la capa depositada. De nuevo, la deposición es en una única capa.

50 El documento WO 02/06553 desvela un método para fabricar perlas de aserrado de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1. No se dan detalles sobre la estructura metalográfica resultante del método ni de los materiales usados. Con el fin de obtener la perla de aserrado es necesario un pre y post-procesado considerable del tubo portador resultante.

55 A pesar de que los métodos descritos para fabricar una herramienta de corte por medio del revestimiento láser a veces sugieren que sea adecuado para fabricar perlas para cables de aserrado, esto no resultó sencillo en absoluto como experimentaron los inventores. Todas las patentes describen la deposición de una capa abrasiva revestida con láser sobre un sustrato masivo de acero de bajo carbono (tal como un disco o tubo de aserrado). En esos casos, está disponible un gran disipador de calor para drenar el exceso de calor.

60 Los inventores se enfrentaron y resolvieron cuatro grandes problemas

- un problema es drenar el calor lo suficientemente rápido del minúsculo manguito metálico de menos de un gramo (!), de tal manera que no se deforme, se funda completamente o sea un desastre total. Por otra parte, debe suministrarse suficiente calor para poder obtener una unión fuerte al manguito y formar una capa abrasiva densa.
- 65 Esto se llama el "problema de calentamiento";

- el ‘problema de geometría’, por el que resultó ser difícil producir las perlas consistentemente dentro de las tolerancias geométricas y con suficiente redondez y centrado. Este problema es específicamente importante ya que durante su uso el cable de aserrado debe rotar con el fin de garantizar un desgaste uniforme de la capa abrasiva.
- 5 – el ‘problema de distribución de partículas’ por el que resultó ser difícil tener una distribución uniforme de las partículas abrasivas en el recubrimiento abrasivo. Esto es importante, ya que durante su uso el material de matriz se erosiona gradualmente descubriendo los diamantes radiales colocados más abajo en la capa. Si todos los diamantes están, por ejemplo, en la superficie, estos se desgastan primero y no están disponibles los diamantes colocados más abajo.
- 10 – el problema de vestir, que es el problema en que las partículas abrasivas están enterradas bajo una capa de material de matriz y no son activas desde el primer uso en adelante.

Divulgación de la invención

15 Por lo tanto, el objeto de la invención es superar los problemas enfrentados cuando se aplica la ‘técnica de revestimiento láser’ para la fabricación de perlas de aserrado para un cable de aserrado. Más específicamente, los objetivos de la invención son proporcionar una solución al ‘problema de calentamiento’, al ‘problema de geometría’, al ‘problema de distribución de partículas’ y al ‘problema de vestir’, o por separado o en combinación. Otro objeto de la invención es mantener el número de etapas de procesamiento lo más bajo posible con el fin de reducir el coste total del proceso de fabricación de perlas. Un objeto adicional de la invención es eliminar la necesidad de una “etapa de roscado de perlas” en la producción de un cable de aserrado, es decir, poder fabricar una perla “in situ” sobre el cable de acero.

20 De acuerdo con la invención se proporciona un método que tiene las características de la reivindicación 1.

25 Método de producción y sección de selección de hardware.

El método se aclarará haciendo referencia a las figuras 1 a 3 y 10. Los dígitos de la centena se refieren al número de la figura donde se introduce primero una característica.

30 De acuerdo con un primer aspecto de la invención se describe un método de producción de una perla. El método parte de un tubo metálico 204 que tiene un diámetro externo OD. En su caso más extremo, el tubo puede ser una varilla, pero esto es menos preferido ya que esto incorpora una etapa adicional de tener que taladrar un agujero central después de que se haya producido la perla. Por lo tanto, el tubo metálico tiene preferentemente un diámetro interior ID, ligeramente mayor que el diámetro del cable de acero. En lo que sigue, ‘un manguito’ es un tubo que es más corto diez veces que el diámetro exterior del tubo. Por lo tanto “un manguito” es un tipo específico de “tubo”. El tamaño de los cables de aserrado actuales está estandarizado. En la actualidad, los tipos siguientes son los más preferidos para el manguito portador de la perla:

- 40 – diámetro interior 5 mm, diámetro exterior 7 mm (es decir, el espesor de la pared es 1 mm), longitud 11 mm con una masa total de 1,6 gramos. Incluyendo la capa abrasiva, la perla tiene un diámetro total de aproximadamente 9 a 11 mm. Esto es para su uso con un cable de acero de diámetro 4,95 mm. Este tamaño es específicamente preferido para la extracción de bloques en canteras.
- 45 – diámetro interior 3,7 mm, diámetro exterior de 5,0 mm (es decir, un espesor de pared de 0,65 mm), longitud de 11 mm con una masa total de 0,77 gramos. Este tamaño se prefiere específicamente para las máquinas de desbastado. El diámetro exterior total de la perla es de aproximadamente 7,2 mm (5,7 mm al final del uso). El cable de acero usado tiene un diámetro de 3,5 a 3,6 mm.

50 Para el futuro, se considerarán los manguitos con un diámetro aún más pequeño tal como, por ejemplo, un diámetro interior de aproximadamente 3,0, o incluso más pequeño que 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 menos, con un peso de menos de 0,5 gramos y un diámetro total de menos de 7,0 mm. El cable de acero tendrá un diámetro de menos de 2,9.

55 En cada caso, aproximadamente de 1 a 3 gramos, a veces de 1 a 2 gramos de capa abrasiva tiene que estar presente en la manga. Por supuesto, cuanto más material de capa abrasiva esté presente, más larga será la vida útil de la perla. Los tamaños y las masas mencionados anteriormente son indicativos. La tendencia hacia diámetros totales más finos está presente. Esto trae consigo que los manguitos llegarán a ser más diminutos y por lo tanto el tubo inicial tendrá un OD y un espesor de pared más pequeño.

60 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 la pared del tubo es menor que el espesor de la capa abrasiva. Este es el mérito de los inventores, haber descubierto cómo puede depositarse tal revestimiento grueso sobre tal sustrato diminuto.

65

El tubo se sujeta en uno o ambos extremos por medio de una garra de torno o portabrocas o una abrazadera similar 202. El tubo se monta preferentemente de manera giratoria y, opcionalmente, el tubo puede desplazarse axialmente a lo largo de al menos la longitud de la capa abrasiva (5 a 15 mm).

5 En el uso del método se fabrica un sistema de revestimiento 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, emitiéndose preferentemente en la región infrarroja del espectro. Son específicamente adecuados los láseres de Nd:YAG (neodimio dopado con granate de itrio-aluminio) bombeados por lámparas de flash o láseres de estado sólido o láseres de gas CO<sub>2</sub>. La luz láser se guía a través de guías de onda adecuadas y de la óptica 112 para tener un punto focal 103 que puede ajustarse en la proximidad de la superficie del sustrato;
- un suministro de material de 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 suministrarse, por ejemplo, en un gas portador, preferentemente un gas no oxidante o un gas inerte tal como el argón;
- un suministro de partículas abrasivas 102. Estas partículas se llevan preferentemente por un chorro de gas portador. Preferentemente, el tipo de gas para llevar las partículas abrasivas y para llevar el material de matriz metálica es el mismo. Como alternativa y se prefiere también que el suministro de las partículas abrasivas 102 pueda hacerse simplemente por esparcimiento.

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

25 Un procedimiento preferido específicamente es en el que el suministro del material de matriz metálica y el suministro de partículas abrasivas son tales que el espesor 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 una dirección radial a intervalos angulares regulares, excluidos los radios que atraviesan las partículas abrasivas. El flujo másico necesario para cada uno de los suministros respectivos de las partículas abrasivas y del material de matriz metálica puede calcularse a partir de las densidades de ambos constituyentes.

35 Preferentemente, el chorro de gas portador se dirige por medio de una pistola láser tal como se describe en el documento US 6.316.744 en el que el flujo de gas es coaxial al haz láser y converge hacia el punto focal a través de una boquilla anular cónica. Una pistola láser de este tipo también se enfría con agua con el fin de evitar el calentamiento de la boquilla. El material de matriz metálica puede alimentarse a través de la pistola láser, mientras que el abrasivo se suministra a través de un flujo de gas separado o simplemente por esparcimiento. Como alternativa, el material de matriz metálica puede suministrarse a través de una boquilla separada de la pistola láser mientras que las partículas abrasivas se alimentan a través de la pistola láser. O tanto las partículas abrasivas como el material de matriz metálica pueden suministrarse a través de la pistola láser. Se prefiere que el suministro de las partículas abrasivas y el suministro del material de matriz metálica estén separados, ya que tienen propiedades de polvo - y por lo tanto de flujo - bastante distintas.

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

50 De este modo se forma un baño de metal fundido 108 en el tubo de sustrato. Al mismo tiempo - o ligeramente después - las partículas abrasivas se arrojan dentro del baño de metal fundido mediante el suministro de partículas abrasivas 102 llevadas por el gas portador o por el esparcimiento asistido gravitacionalmente de las partículas.

55 Incluso antes de que se encienda el sistema de revestimiento láser, el tubo metálico se hace rotar alrededor de su eje. Como alternativa, la pistola láser puede hacerse rotar alrededor del eje del tubo metálico estacionario. O tanto el tubo como la pistola láser pueden rotar uno en relación con el otro. Por supuesto, la primera alternativa es la más preferida, ya que esta es la menos compleja. Se establece de este modo un movimiento de rotación relativo 209 entre el tubo metálico y el sistema de revestimiento láser.

60 Tan pronto como se inicia el sistema de revestimiento láser se forma una pista 206 de un material de matriz metálica solidificado en el tubo. Un ligero retraso entre el encendido del láser y la llegada de las partículas abrasivas permite que el baño de metal fundido se establezca antes de que las primeras partículas abrasivas se arrojen dentro del mismo. Si la pistola láser no se mueve axialmente en relación con el tubo metálico, se construirá una pista que se enrosca sobre sí misma. El material, después de un giro, se depositará sobre un material ya solidificado. Esto se prefiere específicamente si la boquilla de la pistola láser suministra una pista suficientemente ancha, es decir, la anchura 'W' de la pista es aproximadamente la longitud de la perla. Los perfiles de las pistas revestidas con láser

muestran una distribución en general elíptica a rectangular, de tal manera que su anchura puede establecerse fácilmente. La anchura de la pista se refiere al tamaño de la zona láser perpendicular a la dirección del movimiento relativo. La figura 10a muestra una sección transversal de una perla con un manguito 1012 y con una única pista en espiral enrollada sobre sí misma dando como resultado las capas posteriores 1004, 1004',...1004<sup>IV</sup> revestidas una encima de la otra.

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 – la separación – es igual a o menor que la anchura 'W' de la pista. Preferentemente, la separación es una fracción de la anchura 'W', por ejemplo W/2, W/3,... o en general W/Q (Q es un número racional positivo). Por lo tanto, la capa abrasiva estará formada por al menos 'Q' capas de las cuales la primera 206 está en contacto con el tubo metálico a lo largo de toda la capa, mientras que las capas siguientes 208, 210, 212, 214, 216..., solamente tendrán como máximo 1/Q de su ancho de pista en contacto con el sustrato metálico mientras que la parte restante (Q-1)/Q está encima de una pista ya formada (la 'superposición'). El aumento de la superposición tiene efectos beneficiosos para la distribución de partículas abrasivas en la capa abrasiva (el 'problema de distribución de partículas'). La figura 10b muestra una sección transversal esquemática de una perla de este tipo con las pistas 1004, 1004',..., 1004<sup>V</sup> desplazadas axialmente a lo largo de W/3 o Q es 3.

Otro procedimiento del método es cuando el movimiento de traslación opcional se realiza en un movimiento de etapa a etapa. En primer lugar, la pista se reviste a lo largo de unas pocas vueltas del tubo sin un movimiento axial relativo hasta que se construye material suficiente sobre la sección de inicio de la perla. A continuación, la pistola láser se mueve axialmente un número de intervalos, cubriendo cada uno de dichos intervalos una longitud predefinida a una velocidad predefinida. Finalmente, el movimiento de la pistola láser se detiene de nuevo y se hacen algunas vueltas superpuestas en el extremo de la perla. De esta manera, la masa de la capa abrasiva puede esparcirse a voluntad sobre la longitud de la perla. Un ejemplo de esto se muestra en la figura 10c, en la que las diferentes pistas se desplazan una anchura de pista W entre sí. Se depositan dos capas (por ejemplo, 1004, 1004') una encima de la otra.

Preferentemente, 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 necesitará al menos 0,5 segundos para hacer una única capa abrasiva de las dimensiones actualmente en uso. La velocidad de rotación relativa del tubo debería ser de tal manera que al menos se alcanza una velocidad de tubo circunferencial 'v<sub>t</sub>' de 5 mm/segundo. Esto corresponde a una vuelta en aproximadamente 4 segundos en un tubo de 6 mm de diámetro exterior. Más preferido es que la velocidad de rotación sea mayor, por ejemplo 1 vuelta en 2 segundos, o más de 2, 3, 4, 5..., vueltas en 2 segundos del tiempo de revestimiento del láser. Esto corresponde a velocidades de tubo circunferenciales de al menos 9, 18, 28, 37,... mm/segundo. El aumento del número de vueltas por segundo tiene un efecto beneficioso sobre la carga térmica del tubo. Por otra parte, la velocidad de tubo circunferencial no puede ser demasiado alta, ya que entonces el baño de metal fundido que se forma se separa del manguito debido a las fuerzas centrífugas. Esto se produce cuando se aplican velocidades circunferenciales superiores a 500 mm/segundo en un manguito de 6 mm de diámetro exterior. Para manguitos más pequeños, esta velocidad circunferencial debe ser menor para evitar la separación. Por ejemplo, en un manguito de OD de 4 mm 'v<sub>t</sub>' debe permanecer por debajo de 410 mm/segundo.

Después de que se forme la perla, es decir, cuando se alcanza un espesor de aproximadamente 1 a 3 mm a lo largo de la longitud axial total de aproximadamente 3 a 15 mm de la capa abrasiva, el revestimiento del tubo se detiene y se permite que se enfríe la perla formada de este modo (figura 2d).

En una realización alternativa, la detención del revestimiento del tubo se realiza en etapas, a saber, primero se detiene el suministro de las partículas abrasivas mientras continúa el flujo del material de matriz metálica durante al menos una rotación del tubo antes de permite que se enfríe la perla. Como una opción, el haz láser puede estar 'encendido' o 'apagado' durante esta al menos una rotación del tubo. En cualquiera de las situaciones (haz láser 'encendido' o 'apagado') se coloca una capa final sobre las partículas abrasivas para fijarlas mejor. Cuando el haz láser está 'apagado', la perla todavía caliente se enfría más rápido. La perla resultante muestra unas partículas abrasivas que sobresalen de la superficie de la perla, pero que se sujetan con una capa diminuta de material de matriz metálica para retener las partículas. Una perla de este tipo tiene la ventaja específica de que no hay necesidad de "vestir" la perla resolviendo de este modo el 'problema de vestir'.

Con el fin de superar el "problema de geometría", los inventores pusieron a un lado una pieza de conformación 304 a lo largo del extremo del tubo formando de este modo una esquina circunferencial rectangular contra la que se construyó la capa abrasiva. Después de retirar la pieza de conformación, puede obtenerse un borde afilado agradable de la perla. Cuando se pone una pieza de conformación 304, 306 de este tipo en ambos extremos del tubo, ambos extremos de la capa abrasiva de la perla son planos. Estas piezas de conformación 304, 306 están presentes durante la formación de la capa abrasiva.

Las piezas de conformación 304, 306 pueden estar en la forma de un anillo, o más preferentemente en la forma de un anillo segmentado (con dos o más segmentos) que pueden abrirse a un diámetro de al menos el diámetro de la perla acabada y tras el cierre se ajusta estrechamente al tubo. Las piezas conformadoras pueden conformarse, por

ejemplo, para imponer una o más protuberancias o uno o más rebajes en uno o ambos lados de la capa abrasiva.

Además o como alternativa a las piezas de conformación 304, 306 en uno o ambos extremos, después de la detención del revestimiento láser, pero antes del enfriamiento completo de la perla, la perla todavía blanda puede conformarse calibrándola en un molde. Un molde de este tipo puede adoptar la forma de dos mitades que dan la forma final a la perla después de cerrarse. Posiblemente, el tubo puede hacerse rotar mientras la perla se sujeta en el molde con el fin de mejorar la simetría rotacional de la perla.

Además o como alternativa para proporcionar las piezas de conformación 304, 306 en uno o ambos extremos del tubo, la perla también puede conformarse empujando un molde rotatorio 308, por ejemplo, un rodillo contra la perla después de la detención de dicho revestimiento láser, pero antes del enfriamiento completo de la perla. El molde rotatorio 308 debe sujetarse contra la perla y hacerse rotar sobre el mismo durante al menos un perímetro completo de la perla.

Al proporcionar el molde rotatorio 308' y/o dichas piezas de conformación 304, 306 con un patrón estructurado, el negativo de este patrón puede llevarse sobre los lados (en el caso de que las piezas de conformación estén conformadas) o sobre la superficie exterior (en el caso de un molde rotativo conformado 308') de la capa abrasiva de la perla.

La adherencia de los anillos y/o el molde es un problema que se produce. Para evitar esto, los inventores encontraron que es mejor hacer las piezas de molde de un material metálico brillante tal como, por ejemplo, bronce pulido u otra aleación a base de cobre (berilio de cobre). La alta reflectancia de estas piezas impide que se calienten por el haz láser.

En una realización preferida adicional del método, el tubo de sustrato se sujeta en un extremo, por ejemplo, mediante una sujeción de torno 202, el recubrimiento abrasivo 220 es un revestimiento láser sobre el tubo 204 de acuerdo con cualquiera de los métodos descritos anteriormente. La perla formada de este modo se corta por medio de un cincel o una sierra 218. El tubo 204 se hace avanzar axialmente a través de la sujeción de torno 202 bajo el aparato de revestimiento láser y se repite el ciclo. De esta manera pueden fabricarse perlas que pueden enroscarse sobre un cable de acero de una manera conocida.

Como alternativa, la sujeción de torno 202 puede tomar el papel de una pieza de conformación 304. A continuación, el revestimiento láser se inicia contra la sujeción de torno y después se forma la perla, el tubo se hace avanzar a lo largo de al menos la longitud de la perla. A continuación, la perla se corta mediante un cincel o una sierra. Una nueva pieza de tubo ya está presente para iniciar un nuevo ciclo. Opcionalmente, una segunda pieza de conformación 306 puede cerrarse alrededor del extremo libre del tubo con el fin de formar ambos lados de la perla. Después de terminar la perla, la pieza de conformación 306 debe abrirse preferentemente lo suficiente con el fin de permitir que pase la perla.

Como alternativa, una serie de capas abrasivas pueden depositarse sobre el tubo, realizando el tubo una etapa adicional gradualmente cada vez que se recubre la anchura de una capa abrasiva. Después el tubo puede cortarse en 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 de varias maneras:

- Un fluido puede conducirse a través del tubo mientras que rota. Un fluido puede ser un gas o un líquido. Ejemplos son el nitrógeno o el agua. El caudal puede ajustarse. Los gases tienen la ventaja de que no tienen que recogerse, pero necesitan un caudal mayor que los líquidos.
- Un sólido puede moverse a través del tubo que absorbe parte del calor.

Una forma específicamente conveniente para ejecutar el enfriamiento es moviendo el cable de acero - que posteriormente funcionará como el cable portador para las perlas - a través del tubo. De esta manera, se producen las perlas mientras que están sobre el cable, eliminando de este modo la etapa de tener que roscar después las perlas en el cable de acero. El cable de acero también puede moverse hacia atrás y hacia delante de tal manera que la temperatura del cable de acero no se eleve demasiado. Cuanto más baja sea la temperatura del cable de acero, mejor será la transferencia de calor (mayor diferencia de temperatura es beneficiosa para el enfriamiento) y se minimiza el daño al cable.

Los tubos pueden presionarse y conectarse alrededor del cable de acero en un etapa anterior como se describe en la solicitud PCT/EP2010/067527 (en particular los párrafos a [0018]) antes de recubrirlos mediante un revestimiento láser.

Aunque se sabe del revestimiento láser con matrices metálicas que contienen partículas abrasivas, estos métodos solo se ejercen sobre sustratos metálicos voluminosos tales como taladros de perforación, hojas de sierra, hojas de cuchillas, tubos y similares. Parece ser un perjuicio en el campo que tales sustratos voluminosos sean necesarios

con el fin de poder drenar el calor de proceso del revestimiento en el proceso de revestimiento láser. Como la masa del manguito tubular es muy pequeña la velocidad de enfriamiento 'dT/dt' junto con la velocidad circunferencial 'v<sub>t</sub>' determinará si el manguito sobrevivirá o no al proceso de recubrimiento. En contraste con esto, se necesita una cantidad suficiente de calor con el fin de formar una capa de unión metalúrgica 207 entre el manguito y las capas abrasivas 206 y para consolidar las capas siguientes 208, 210... entre sí. Estos requisitos son contradictorios, pero reconciliados por el método descrito anteriormente, resolviendo de este modo el problema de calentamiento. Los inventores descubrieron extraordinariamente que el método de revestimiento desvelado puede usarse para la producción de perlas de aserrado, en las que la masa de la capa abrasiva es mayor que la masa del tubo o varilla metálica recubierta por dicha capa abrasiva. Solo debe considerarse la masa del tubo radial debajo de la capa abrasiva. La masa del tubo recubierto puede ser inferior a 1 gramo.

O incluso más grave: que el espesor de pared del tubo metálico sea menor que el espesor de la capa abrasiva. Por supuesto, el espesor de la perla no usada debe considerarse como que - durante su uso - la mayor parte de la capa abrasiva se erosiona.

Sección de selección de materiales.

Preferentemente, el tubo metálico que se usa como un sustrato, se fabrica de un metal o aleación metálica que tiene un punto de fusión más alto que el del material de matriz metálica. Los metales específicamente apreciados son los aceros al carbono simples o el acero inoxidable. Se prefiere un acero al carbono bajo a medio, es decir, un acero con un contenido de carbono entre un porcentaje del 0,04 en peso y el 0,80 % en peso de carbono. El sustrato puede suministrarse en forma de un tubo largo. O el sustrato puede suministrarse en la forma de manguitos cortos que se han formado y conectado alrededor del cable de acero portador como se describe en la solicitud PCT/EP2010/067527 del solicitante (más en particular en los párrafos a [0018]). Los manguitos entonces 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 se han realizado 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 están provistos preferentemente de un estriado interior tal como un roscado para proporcionar un mejor agarre con el polímero que recubre el cable de acero. Por lo tanto, el 'espesor de pared' de los manguitos se entiende que incluye los picos interiores de la rosca. Además, el manguito puede tener un espesor de pared variable - por ejemplo más delgada en los extremos, más gruesa en el medio - para una mejor penetración del polímero.

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

Se prefieren específicamente las soldaduras (cobre y zinc como elementos principales) y los bronce (cobre y estaño como elementos principales). Otras aleaciones preferidas son las basadas en plata Ag-Cu, Ag-Cu-Zn o Ag-Cu-In. Se prefieren también aleaciones basadas en 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 matriz. Si la matriz se desgasta demasiado rápido, las partículas abrasivas se desprenderán, mientras que no se está usando para la guía completa en un desgaste de herramienta prematuro. A la inversa, si la matriz es demasiado resistente al desgaste, las partículas abrasivas no sobresaldrán suficiente para cortar dando como resultado velocidades de aserrado demasiado bajas.

Las más preferidas son las 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 siendo este último el más preferido, ya que tiene el punto de fusión más bajo. Estos metales son activos de dos maneras:

- se conocen para mejorar la humectación de las partículas abrasivas durante la deposición y;
- son formadores de carburo que funciona bien en combinación con los abrasivos que contienen carbono (véase más adelante).

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

Las posibles partículas abrasivas 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 pueden humedecerse fácilmente por todos los metales activos mencionados. Los nitruros (es decir, nitruro de boro cúbico, nitruro de silicio) se humedecen mejor con titanio. El más preferido es el diamante (es decir,



carbono casi puro), ya sea el hecho por el hombre o natural, siendo el primero el más preferido por su menor coste.

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

Cuando está presente un metal no activo en el material de matriz metálica o en las partículas abrasivas, las partículas abrasivas no se humedecen fácilmente con el metal fundido. Esto conduce incluso a un "rebote" de las partículas abrasivas en el nivel del baño de fusión del baño de metal fundido cuando están incidiendo en el baño de metal.

En general, pueden usarse en el método las partículas con un tamaño entre 100  $\mu\text{m}$  y 600  $\mu\text{m}$ . Las partículas para el corte de piedra son preferentemente de granalla gruesa, es decir, con una amplia gama de tamaños de granalla, el tamaño de malla de Estados Unidos 30/40, el tamaño de malla 40/50 o el tamaño de malla 50/60 (Los tamaños de malla están de acuerdo con la norma de Estados Unidos ASTM E 11, cuanto mayor sea el número, menores serán las partículas). El más preferido para los perlas de aserrado es el tamaño de malla 40/50. Un tamiz de mallas 40 tiene aberturas cuadradas de 420  $\mu\text{m}$  de lado donde las partículas de menor tamaño pasan a través. Parte de esas partículas más pequeñas se sujetarán por el tamiz de mallas 50 con aberturas cuadradas de 297  $\mu\text{m}$  de lado. El tamaño medio de las partículas restantes es de aproximadamente 427  $\mu\text{m}$  en el sistema de designación de tamaño de granalla de acuerdo con la FEPA (federación de productores europeos de abrasivos) que asigna un tamaño medio para cada tamaño de malla.

La densidad de los abrasivos es en general menor que la densidad de los materiales de matriz metálica que se ven favorecidos: por ejemplo, los broncees en general tienen una densidad de 8 a 9  $\text{g/cm}^3$  mientras que el diamante solamente tiene una densidad de 3,5  $\text{g/cm}^3$ . Cuando las partículas abrasivas son relativamente grandes y su fuerza de flotación más grande no se ve obstaculizada por el flujo viscoso, las partículas flotan hacia la superficie en el baño de metal fundido. Cuando el tamaño de las partículas es menor que aproximadamente 100  $\mu\text{m}$ , la viscosidad del metal fundido evitará que floten hacia la superficie, de tal manera que la distribución de los diamantes se congela 'en su lugar'. Por lo tanto, es un problema tener las partículas abrasivas de mayor tamaño distribuidas uniformemente por todo el volumen del material: 'el problema de distribución de partículas'. Los inventores han resuelto este problema depositando 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 0,5 a 3 veces o 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 suficientemente rápida por lo que la pista se solidifica antes de que la siguiente pista se deposite en la parte superior. Esto resulta en una distribución uniforme de las partículas en la dirección radial.

#### Sección de caracterización de perla

La perla tiene un manguito metálico tubular rodeado por una capa abrasiva que comprende unas partículas abrasivas incrustadas en un material de matriz metálica. La característica de la perla es que tiene una microestructura dendrítica en una sección transversal metalográfica.

Las perlas fabricadas mediante el procedimiento de la invención mencionado anteriormente muestran una metalografía distinta en comparación con las perlas obtenidas a través del procesamiento conocido de sinterización (véase el párrafo [6]). Las capas depositadas por medio del revestimiento láser pueden mostrar diferentes estructuras metalográficas en función del material de matriz metálica, el gradiente de temperatura en la interfaz líquido-sólida 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 una aleación uniforme de los elementos metálicos. La reducción del gradiente de temperatura a la misma velocidad de solidificación puede resultar en un tipo de estructura celular en la que una fase se realiza en las células de otra fase que tiene un punto de fusión más bajo.

La estructura preferida de acuerdo los inventores para su uso en una perla de aserrado es una estructura metalográfica dendrítica ('como la de un árbol') que se obtiene con velocidades de enfriamiento suficientemente altas, pero no demasiado altas y una velocidad circunferencial mínima. En las condiciones de revestimiento láser preferidas, los componentes de las aleaciones metálicas en el baño de fusión no tienen la oportunidad de alcanzar un equilibrio térmico. Debido a la presencia de un gradiente de alta temperatura espacial, la fase sólida creciente buscará la forma más eficaz para expulsar por delante los componentes de soluto superfluos en el líquido con el fin de satisfacer la fase intermetálica preferida del sólido. Esta eyección resulta ser más eficaz si el sólido crece en la forma de un árbol cuando entonces la mayoría de la superficie está disponible para expulsar el soluto. Por lo tanto, el tronco y las ramas del árbol pueden formarse mediante una fase intermetálica con una alta temperatura de solidificación mientras que la fase inter-dendrítica será una fase de componente o intermetálica con un punto de solidificación más bajo. Al aumentar la velocidad de solidificación, que es proporcional a la velocidad circunferencial ' $v_t$ ' - la microestructura puede refinarse. La finura de la microestructura también se considera para que contribuya a la dureza y a la resistencia al desgaste de las capas de revestimiento láser: cuanto más fina sea la estructura mayor será la resistencia al desgaste. Véase "Laser Cladding" de E. Toyserkani, A. Khajepour y S. Corbin, capítulo 6, 2005,

CRC Press, ISBN 0-8493-2172-7.

La finura de la microestructura es específicamente importante para las perlas de aserrado en cuanto a que el material de 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 el revestimiento láser dará lugar a matrices de metal muy suaves que no son aptas para el fin. La finura de la estructura puede cuantificarse, por ejemplo, midiendo la mayor característica de la estructura dendrítica, tal como el 'tronco' 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 tronco son visibles en un fotograma. El tronco debe ser ininterrumpidamente visible en una sola vista. La distancia de extremo a extremo puede medirse por un software de formación de imágenes apropiado. Preferentemente la longitud de tronco máxima obtenida en diez fotogramas diferentes permanece por debajo de 300  $\mu\text{m}$  ya que de lo contrario la estructura se vuelve demasiado blanda. Incluso más preferido es que estos troncos sean más cortos que 200 o 100  $\mu\text{m}$  o incluso más cortos que 50  $\mu\text{m}$ . Normalmente los troncos pueden observarse hasta una longitud de aproximadamente 5 a 10  $\mu\text{m}$ . Si la longitud de tronco máxima descubierta es inferior a 1  $\mu\text{m}$ , la estructura ya no se considera dendrítica para el fin de esta solicitud.

El material de matriz metálica se elige en línea con las opciones especificadas en los párrafos [53] a [56].

Una ventaja adicional del uso de la técnica de revestimiento láser es que se forma una capa de unión metalúrgica 207 entre el manguito de metal y la capa abrasiva. Esto elimina la necesidad de soldar la capa abrasiva al tubo. Los inventores descubrieron 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 que 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 abrasiva se compone solo de los componentes metálicos del manguito y los componentes metálicos de la capa abrasiva.

La adherencia de la capa abrasiva puede probarse por cizallamiento de la capa abrasiva del manguito en un ensayo de tracción axial. La fuerza de corte necesaria para desprender la capa abrasiva del manguito cuando se refiere al área de superficie común entre la capa abrasiva y el manguito debe ser al menos de 30  $\text{N/mm}^2$ , o preferentemente más de 50  $\text{N/mm}^2$ . Se han alcanzado fuerzas de desprendimiento de 70  $\text{N/mm}^2$  o más de 100  $\text{N/mm}^2$ .

De manera ventajosa algunas de las partículas abrasivas pueden - como máximo - penetrar en la capa de unión metalúrgica. Como las partículas abrasivas están presentes incluso en estrecha proximidad del manguito o incluso en el manguito, esto permite que las perlas puedan usarse hasta que la capa abrasiva se desgaste casi hasta la manga. En las perlas de la técnica anterior esto no es posible debido al uso 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. Preferentemente 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  $\mu\text{m}$  o 150  $\mu\text{m}$ , o más delgada que 100  $\mu\text{m}$  aunque se han obtenido buenos resultados con capas de unión metalúrgicas más delgadas que 50  $\mu\text{m}$ , como un espesor de aproximadamente 20 a 10  $\mu\text{m}$ . Las capas de unión demasiado delgadas - más delgadas que 0,1  $\mu\text{m}$  - conducirán a una capa abrasiva reducida por la fuerza de retención del manguito y dará lugar a un fallo prematuro de la perla.

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

También pueden usarse mezclas de partículas abrasivas. Mezclas específicamente preferidas de las partículas abrasivas son el diamante con (carburo de tungsteno o carburo de silicio) o nitruro de boro cúbico con (carburo de tungsteno o nitruro de silicio).

Una realización específicamente preferida de la perla de aserrado es una donde parte de las partículas abrasivas sobresalen de la superficie exterior de la perla. Preferentemente, las partículas se sujetan en una capa de retención del material de 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 sujetarse suficientemente en la capa de retención de matriz metálica. Cuando las partículas abrasivas están enterradas demasiado profundamente en el material de matriz metálica, no están fácilmente disponibles para el aserrado. La capa de retención es preferentemente más delgada que 0,5 o incluso más preferentemente más fina que 0,2 veces el tamaño medio de las partículas abrasivas. Una capa demasiado espesa no desvelará las partículas abrasivas suficientemente rápido en el primer uso. No hay un mínimo para la capa de retención de matriz metálica, como parte

de los bordes o esquinas que sobresalen de las partículas abrasivas en realidad pueden no estar cubiertas en absoluto, mientras que el resto de la partícula está cubierta. Una perla de aserrado de este tipo no debe ser vestida antes de su uso.

- 5 Preferentemente la perla contiene un metal activo para mejorar la unión entre las partículas abrasivas y el material de 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 preferentemente más delgadas que 5  $\mu\text{m}$ , más preferentemente más delgadas que 2  $\mu\text{m}$ . 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 matriz metálica.

15 Estas capas de interfaz marcan los diferentes bucles de la pista que se depositan en una parte anteriormente depositada de la pista durante el proceso de revestimiento láser. Cómo se forman estas capas de interfaz no se conoce. 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 las capas de interfaz primera y segunda (si están presente) y así sucesivamente.

20 Por lo tanto, se conjetura - sin limitarse 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 del baño de fusión. Esto no es irrazonable ya que los metales activos en general tienen una densidad menor que la de los otros componentes del baño de metal fundido. Después de una solidificación rápida, las partículas abrasivas se sujetan en el interior del baño de metal en solidificación como si se sujetaran por una piel. Por lo tanto, las capas de interfaz ayudan a mantener las partículas abrasivas en su lugar y a evitar que floten hacia arriba. De esta manera se supera el conocido 'problema de distribución de partículas', al depositar las capas revestidas por láser con partículas abrasivas relativamente grandes. La distancia media - en cuanto a que se mide durante al menos 12 radios que no crucen una partícula abrasiva - entre la capa de unión metalúrgica y la primera capa de interfaz o entre las propias capas de interfaz es preferentemente entre 0,1 a 5 veces o 0,5 a 3 o 1 a 3 veces el tamaño medio de las partículas abrasivas.

25 Cuando, durante la deposición de la pista, hay un movimiento axial relativo entre el sistema de revestimiento láser y el tubo, la pista mostrará una pista sustancialmente helicoidal sobre sí misma si la separación después de una revolución es menor que la anchura de la pista. En la perla, los restos de este proceso pueden verse en la inclinación de las capas de interfaz en relación con el 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 puede rastrearse.

40 Si se usan partículas abrasivas que están pre-recubiertas con una capa de metal activo, este recubrimiento 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 matriz metálica.

45 Un cable de aserrado 400 (figura 4) comprende un cable de acero 408 y al menos una perla 404 como se ha descrito anteriormente o se obtiene a través del método de producción de perlas descrito anteriormente. El cable de aserrado 400 comprende además una camisa de polímero 402 para mantener las perlas 404 en su lugar. Un cable de este tipo puede producirse de la manera convencional o de la manera como se describe en el documento PCT/EP2010/067527.

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

55 Una forma específicamente preferida del uso de las perlas es cuando la perla 404 se acciona, durante su uso en el cable de aserrado, en la dirección 406 como se indica por la inclinación de las capas de interfaz. Indicado simplemente: las capas de interfaz inclinadas forman una flecha que indica cómo debería usarse la perla de manera preferente. Esta dirección se prefiere específicamente cuando las capas de interfaz no se ven afectadas por la entrada en la pieza de trabajo 410 que se asierra.

60 Breve descripción de las figuras en los dibujos

- 65 La figura 1 muestra un principio de funcionamiento de un sistema de revestimiento 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 usa la perla en la práctica de mejor manera.

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 microscopio electrónico de barrido de la perla producida por el método.

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

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

Las figuras 9a y 9b son imágenes individuales de una tomografía micro informática de la perla.

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

Modo(s) de realizar la invención

15 En lo que sigue, se describirá solamente el modo más preferido para practicar la invención ya que tuvieron que realizarse numerosos experimentos antes de que se llegara a estas condiciones.

En una serie de ensayos se usó el siguiente tipo de equipo:

- 20 • Sistema de revestimiento láser
  - Un diodo láser ‘Laserline LDF 3 kW’ que funciona a 1300 W en modo continuo a una longitud de onda de 1030  $\mu\text{m}$ .
  - Una pistola láser ‘Balliu’ fabricada por Laserline GmbH con alimentación coaxial del polvo;
  - Una tolva de polvo Medicoat Duo
  - Suministro de gas: argón.

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

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

30 La velocidad de alimentación de las partículas se mantuvo constante en todos los experimentos posteriores, lo que resulta en un flujo constante del material ‘ $\phi_m$ ’.

35 Como un sustrato se usó un manguito con una conexión soldada, fabricado de acero de bajo carbono (0,067 % en peso de C) con un diámetro interior de 3,8 mm y un diámetro exterior de 4,95 mm (un espesor de pared de 0,575 mm), con una longitud de 10 mm. El sustrato se sujetó entre unas piezas de conformación de latón pulido. A través del manguito se insertó un cable de acero galvanizado de 19 + 6 x 7 de diámetro 3,75 mm y se movió lentamente a su través durante el revestimiento láser.

40 Como materiales se usaron los siguientes:

- Material de matriz de metal: polvo de bronce con una composición nominal de Sn 14 % en peso, Ti 8 % en peso, siendo el resto Cu (e impurezas inevitables). El tamaño del polvo era menor de 75  $\mu\text{m}$ .
- Malla de partículas de diamante artificiales 40/50 con un tamaño medio medido de 415  $\mu\text{m}$ .

45 En primer lugar el torno se inició para hacer que el manguito rotase aproximadamente 0,25 segundos para una rotación completa (período de rotación ‘T’) que resulta en una velocidad de pista de 6,3 mm/s. El foco del láser, con un tamaño de punto de 3,8 mm, se estableció en aproximadamente 7 mm por encima de la superficie del manguito. Por lo tanto, el flujo de material se calentó ya antes de impactar en el manguito.

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

55 El movimiento axial entre el tubo y la pistola láser fue de la siguiente manera:

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

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

5 Después del enfriamiento final, la sujeción se abrió y la perla formada de este modo se formó sobre el cable de acero portador. El daño por calor al cable de acero resultó ser aceptable. La perla todavía pudo desplazarse sobre el cable de acero. Varias perlas se fabricaron de acuerdo con este procedimiento que resulta ser adecuado para la automatización.

10 El espesor total de la capa abrasiva sobre la perla formada de este modo fue de 1,53 mm (es decir, 2,7 veces el espesor de 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 la que el manguito tenía 0,64 gramos. Como solo están cubiertos 6 mm de la longitud total de 10 mm del manguito, la 'masa del tubo recubierta 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 del tubo recubierta por el manguito abrasivo. Las perlas tenían una concentración de diamante de entre 1,86 a 2,00 quilates/cm<sup>3</sup> (masa entre volumen).

20 En una sección transversal metalográfica, las perlas obtenidas por revestimiento 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 de perla en un plano que comprende el eje del plano. Como reactivo puede usarse lo siguiente:

- 10 ml de ácido fluorhídrico al 40 %, 5 ml de ácido nítrico al 65 % en 85 ml de H<sub>2</sub>O y;
- 10 g de hidróxido de sodio, 5 ml de peróxido de hidrógeno al 30 % en 100 ml de H<sub>2</sub>O.

25 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 al sustrato. Unas estructuras dendríticas son visibles en toda la imagen. Un ejemplo de una estructura dendrítica (muy parecido a un helecho) está indicado por 502. Un tronco puede discernirse con diferentes ramas perpendiculares al mismo a los lados. El tallo discernible más largo es de aproximadamente 200 μm de extremo a extremo. Además, pueden verse unas capas de interfaz de las que la 508 es un ejemplo. Otra capa de interfaz puede verse en la esquina superior derecha de la fotografía.

30 La figura 5b es una ampliación x 1000 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 unos troncos, ramas y hojas de color blanco en donde puede verse entre una fase inter-dendrítica diferente, más oscura. Por lo tanto, la estructura muestra una estructura auto-similar en al menos estas dos ampliaciones.

35 La figura 6 muestra una imagen de microscopio electrónico de barrido (SEM) en el aumento indicado por la barra de '90 μm'. Puede verse una partícula de diamante 602 claramente. El material de matriz 604 muestra una vez más la típica estructura dendrítica. Una capa de interfaz 608 atraviesa en diagonal 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 mayor concentración de titanio (en porcentaje en peso). Cuando la capa de interfaz toca el diamante (en 610) los espectros EDX revelan la formación de carburo de titanio.

40 La figura 7 también muestra una imagen SEM de una sección transversal axial. Una vez más pueden discernirse diferentes capas de interfaz 706, 708 y una partícula de diamante 702. 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 sujetasen en su posición mediante la capa de interfaz. Por lo tanto, los diamantes están presentes entre las capas de interfaz. Los números 245,35, 394,70, 346,71 y 320,28 μm son los espesores de las diferentes capas formadas en el material de matriz 704. Nótese que el espesor de 394,70 μm de la capa está entre 0,5 y 3 veces el tamaño del diamante 702 que sujeta. Más importante es que la imagen muestra la capa de unión metalúrgica 710 con un espesor de 20 a 30 μm. El EDX revela que la capa de unión metalúrgica es una mezcla de los elementos metálicos presentes en el manguito y el material de matriz metálica.

45 Unos ensayos de tracción axial en los que la capa abrasiva se sujeta en una abrazadera en U (sin presión radial) y el manguito se extrae por medio de un perno mostraron unas fuerzas de 8357 N y 10359 N antes de mover el manguito. Unas pruebas comparativas en unas perlas de la técnica anterior mostraron valores de 5 a 12 kN. En relación con el área de superficie común entre el manguito y la capa abrasiva se trata de una fuerza de cizalladura de 89 N/mm<sup>2</sup> y 110 N/mm<sup>2</sup> respectivamente.

50 La figura 8 muestra una sección transversal esquemática de una de las perlas fabricadas. Los diamantes 802 se hacen sobresalir de la superficie en el entorno inmediato del diamante. Los diamantes que sobresalen de la superficie 802 están enterrados más de 0,5 veces su tamaño en el material de matriz metálica tomado en relación con su entorno inmediato. Los diamantes están recubiertos en parte o completamente por una capa de retención

820 de material de matriz metálica. Los diamantes que sobresalen hacen superflua la necesidad de una etapa de vestir. Además, se indica la capa de unión metalúrgica 810 que une la capa abrasiva 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 perla como se obtiene en una exploración de tomografía micro informática ( $\mu$ CT). La imagen revela claramente la redondez geométrica de la perla y la distribución radial uniforme de los diamantes por toda la capa abrasiva. Esto es extraordinario en que, aunque los diamantes son aproximadamente de 400 a 500  $\mu$ m de tamaño, no parecen sufrir la fuerza de flotación que tiende a empujarlos hacia la superficie. Los inventores hipotéticamente atribuyen esto a la deposición de capas de la capa abrasiva, posiblemente en combinación con el hecho de que las capas interfaciales del metal activo evitan que los diamantes floten hacia arriba capturando de este modo el diamante en esta capa. De esta manera se resuelve el 'problema de distribución de partículas'.

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

15 Algunas perlas se sometieron a una única prueba de corte de perla tal como se describe en "Progress in the knowledge of granite cutting with diamond wire" de A. Bortolussi, A. Caranassios, R. Ciccu, R. Lassandro, P.P. Manca y G. Massacci en "Proceedings of the 11<sup>th</sup> 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 puede ajustarse entre 20 a 30 m/s. La perla también se hace rotar alrededor de su propio eje con aproximadamente 1 rotación por segundo. Se inyecta agua entre la perla y la piedra como refrigerante. Se midió el desgaste de la perla como una función de la zona aserrada. El aserrado se continuó hasta que la perla se desgastó hasta el manguito.

20 Se obtuvieron los siguientes resultados en comparación con las perlas comercialmente disponibles:

30

	perla de la técnica anterior	perla de la inventiva
Diámetro exterior inicial (mm)	7,1 (*)	7,1
Diámetro exterior final (mm)	6,6	6,55
Superficie aserrada (cm <sup>2</sup> )	550	600
Velocidad media de aserrado (mm/minuto)	0,25 a 0,50	0,50 a 1,00

(\*) La perla se vistió antes de comenzar la prueba.

**REIVINDICACIONES**

1. Método para producir una perla para su uso con un cable de aserrado que comprende las etapas de:

- 5           - sujetar un tubo metálico en al menos uno de sus extremos;  
          - comenzar a revestir dicho tubo por medio de un sistema de revestimiento láser por lo que  
              se funde un suministro de material de matriz metálica por un haz láser en dicho tubo y;  
              se arroja un suministro de partículas abrasivas en el baño de material de matriz metálica fundido;  
10          - formar una pista en dicho tubo moviendo relativamente dicho sistema de revestimiento láser en dicho tubo en  
          un movimiento de rotación y opcionalmente de traslación de dicha pista construyendo una capa abrasiva en  
          dicho tubo;  
          - detener el revestimiento de dicho tubo;  
          - permitir que la perla formada de esta manera se enfríe;
- 15          caracterizado por que dicha capa abrasiva de dicha perla formada tiene una masa que es mayor que la masa de  
          dicho tubo cubierto por dicha capa abrasiva  
          y  
          la velocidad de tubo circunferencial en relación con dicho sistema de revestimiento láser está entre 5 y 500 mm  
          por segundo.

20          2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicho tubo tiene un espesor de pared menor que el  
          espesor de dicha capa abrasiva.

25          3. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, en el que dicho suministro de partículas  
          abrasivas y dicho suministro de material de matriz metálica son de tal manera que el espesor medio de la pista  
          formada es entre 0,1 y 5 veces el tamaño medio de dichas partículas abrasivas.

30          4. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que dicha pista tiene además una  
          anchura de pista, siendo dicho movimiento opcionalmente de traslación después de una rotación completa igual o  
          menor que dicha anchura de pista.

35          5. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que dicho suministro de material de  
          matriz metálica se realiza llevando polvo de material de matriz metálica en un chorro de gas portador, por lo que  
          dicho polvo de material de matriz metálica se calienta por dicho haz láser antes de que impacte sobre dicho tubo  
          metálico.

40          6. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que dicha etapa de detener el  
          revestimiento de dicho tubo se efectúa por primera vez deteniendo dicho suministro de partículas abrasivas seguido  
          opcionalmente de la desconexión de dicho haz láser mientras se continúa el suministro del material de matriz  
          metálica durante al menos una rotación de dicho tubo.

45          7. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que dicha construcción de dicha  
          capa abrasiva está delimitada por una o dos piezas de conformación laterales sujetas en uno o en ambos extremos  
          de dicho tubo.

50          8. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, que comprende además la etapa de  
          - conformar la superficie exterior de dicha capa abrasiva poniendo en contacto dicha capa abrasiva con un molde  
          - después de la detención de dicho revestimiento pero antes del enfriamiento de dicha perla.

9. El método de acuerdo con la reivindicación 8 en el que dicho molde se empuja y se hace rodar contra dicha perla  
al menos todo el perímetro de dicha perla.

55          10. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en el que dicho molde y/o dichas piezas  
          de conformación se fabrican de un material que refleja la luz de dicho haz láser para limitar el calentamiento de  
          dichas piezas de conformación y/o dicho molde.

60          11. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, en el que la superficie de dicho molde  
          y/o dichas piezas de conformación en contacto con dicha capa abrasiva se conforman para imponer una forma  
          exterior a dicha capa abrasiva.

12. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, seguido por las etapas de:

- 65           - cortar dicha perla de dicho tubo;  
          - hacer avanzar axialmente dicho tubo la longitud de una perla;

13. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en el que dicho tubo se enfría moviendo un sólido y/o un fluido a través del mismo.

14. El método de acuerdo con la reivindicación 13, en el que dicho sólido es un cable de acero.

5



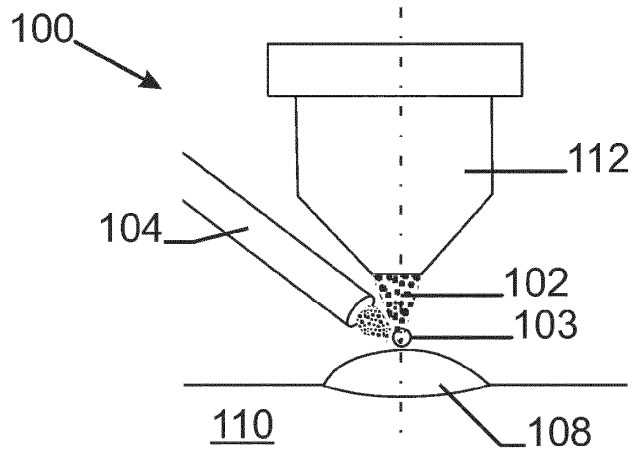


Fig. 1

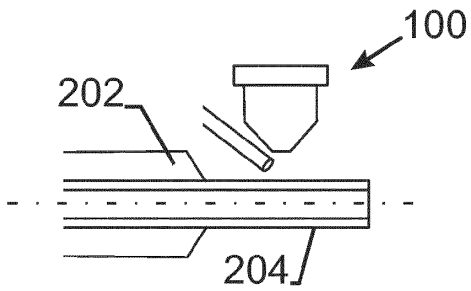


Fig. 2a

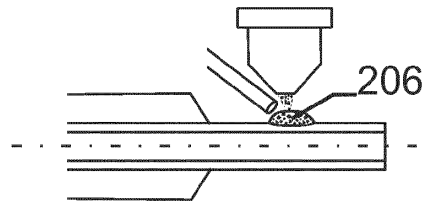


Fig. 2b

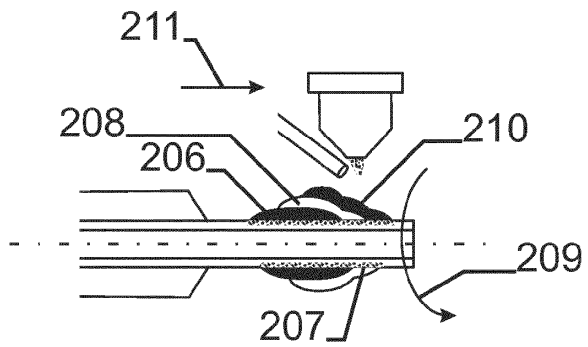


Fig. 2c

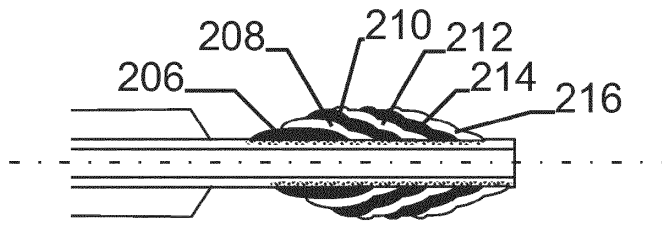


Fig. 2d

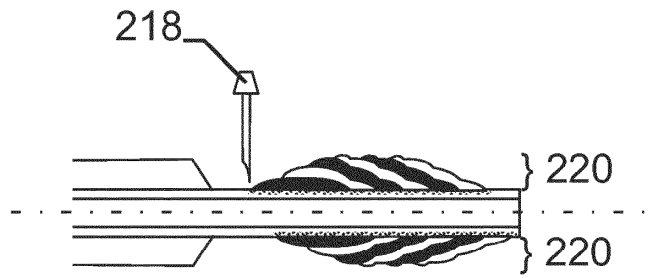


Fig. 2e

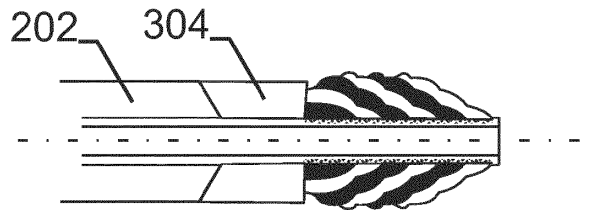


Fig. 3a

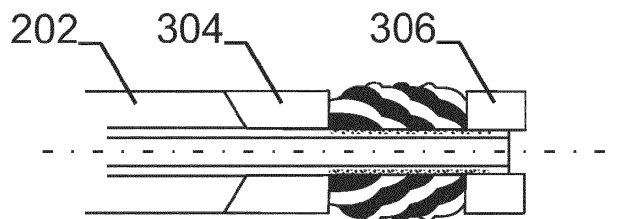


Fig. 3b

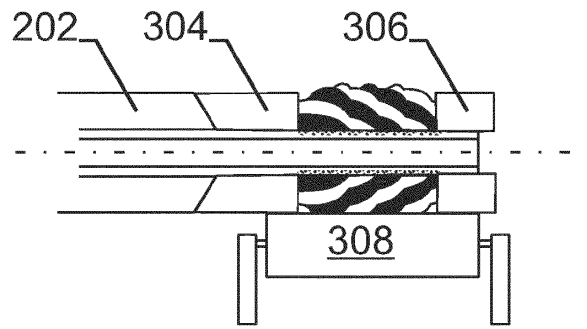


Fig. 3c

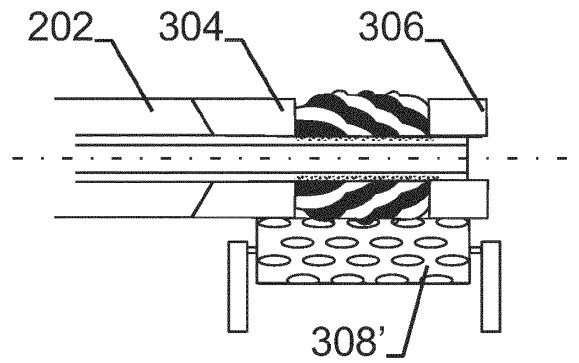


Fig. 3d

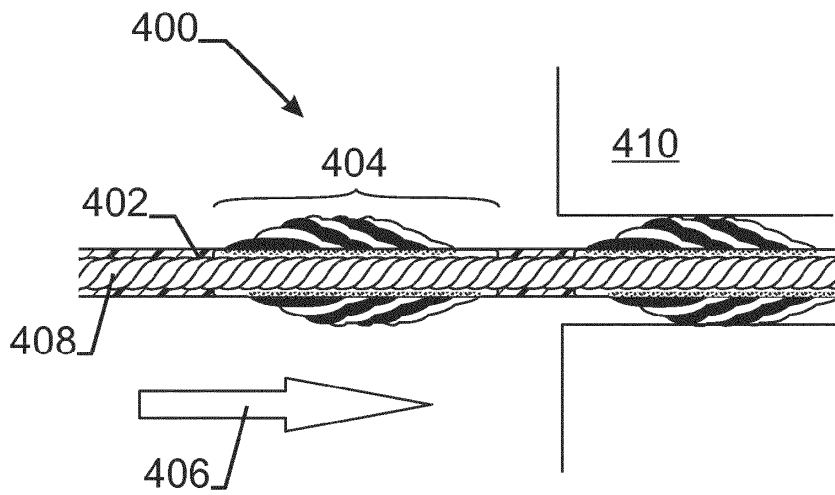


Fig. 4

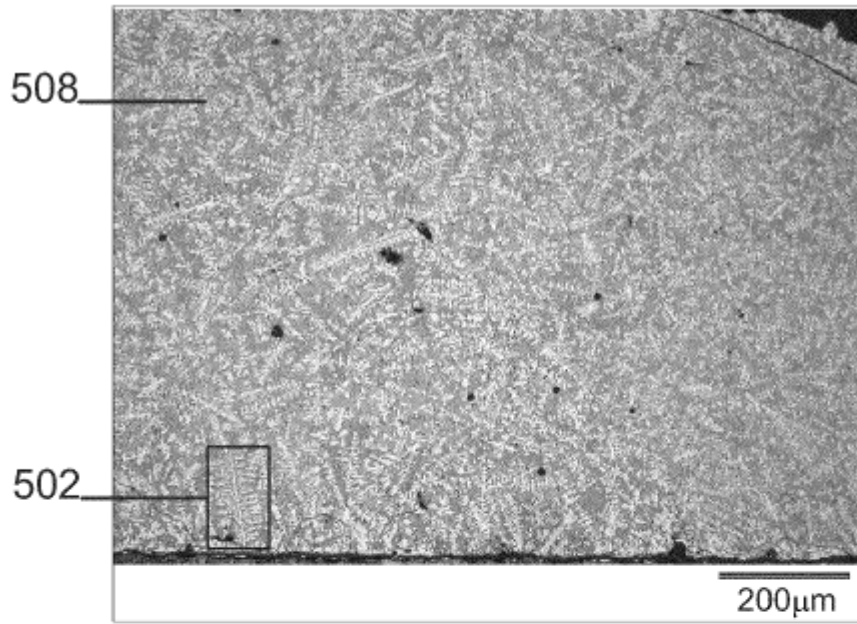


Fig. 5a

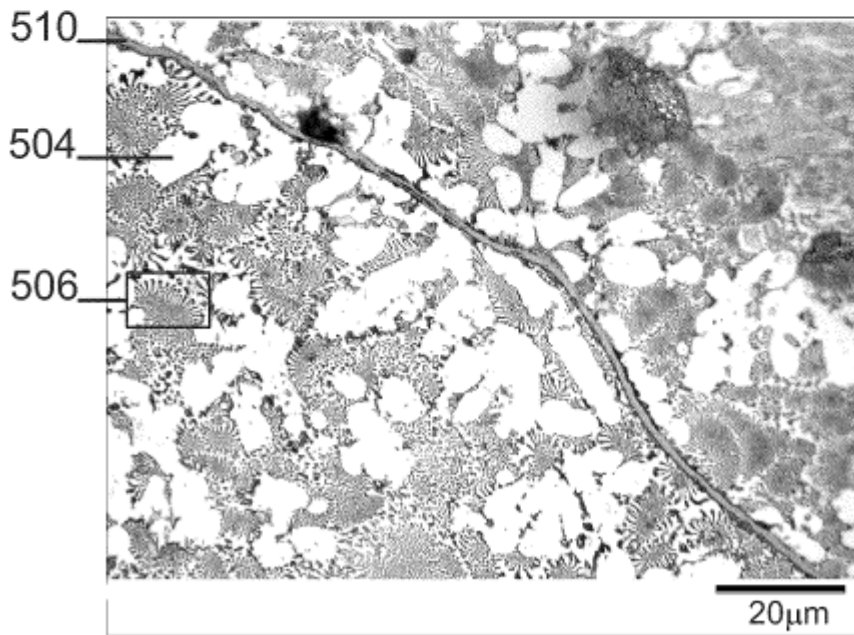


Fig. 5b

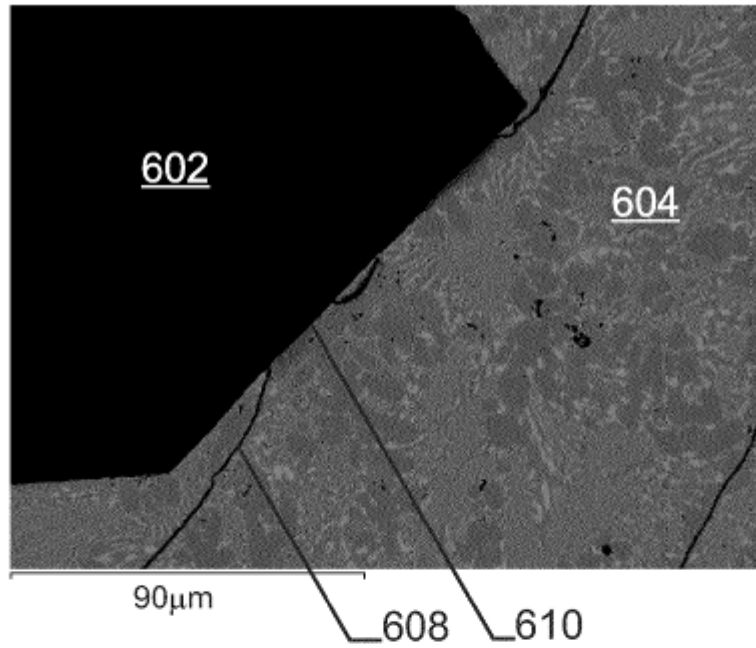


Fig. 6

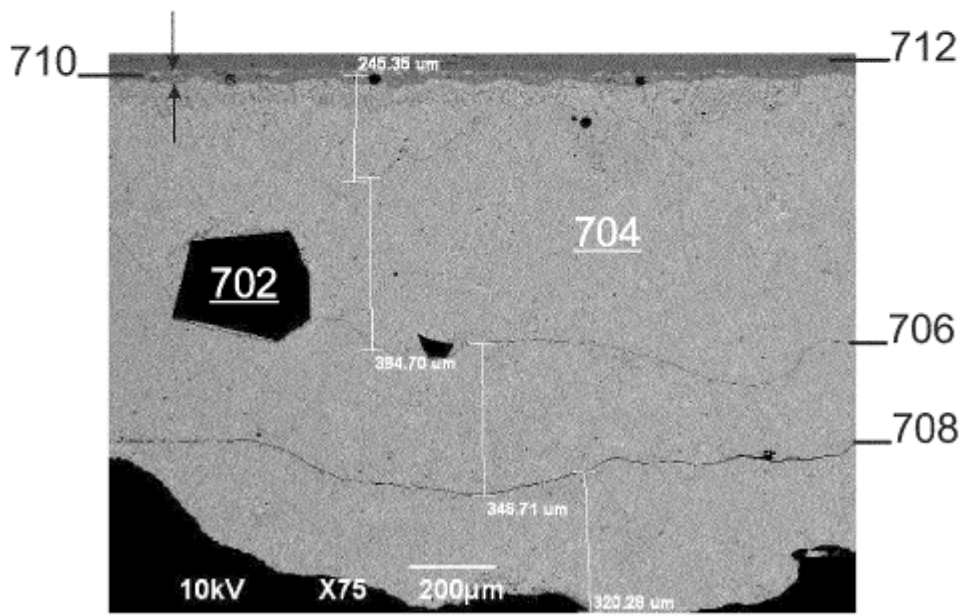


Fig. 7

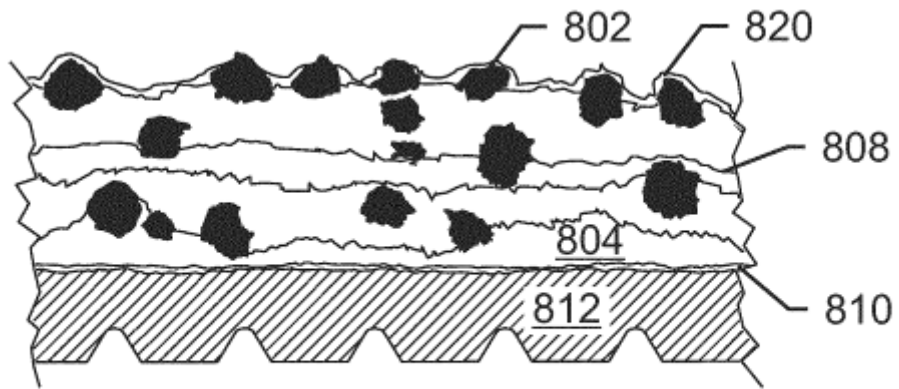


Fig. 8

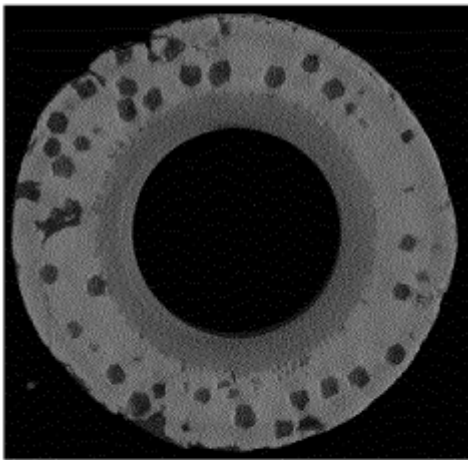


Fig. 9a

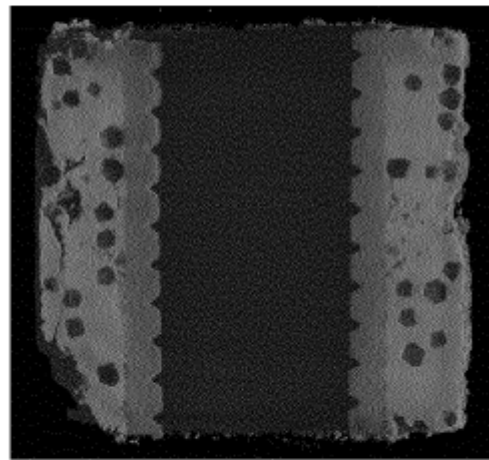


Fig. 9b

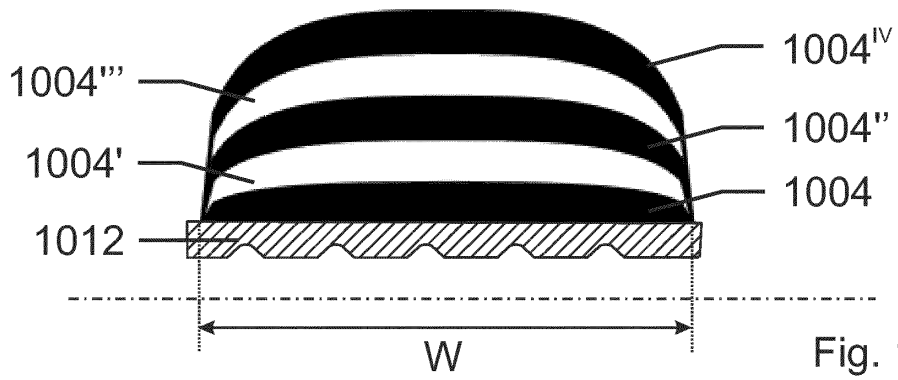


Fig. 10a

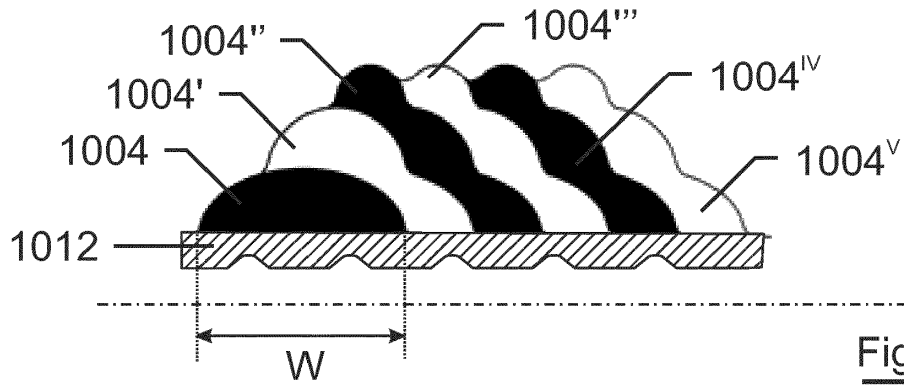


Fig. 10b

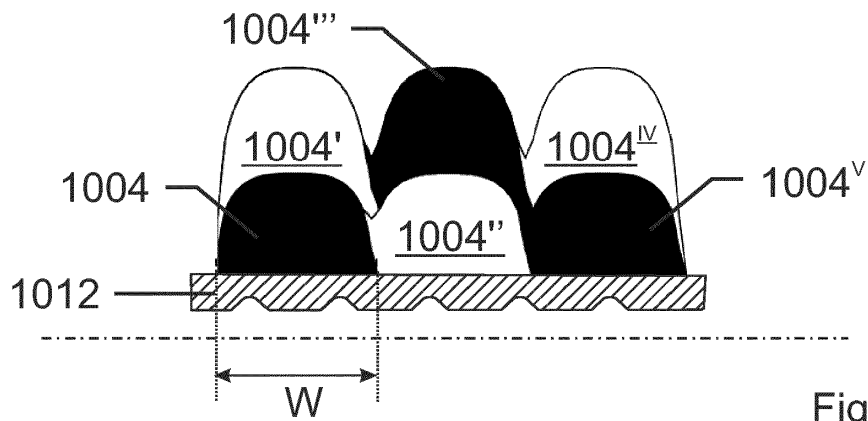


Fig. 10c