

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 537 293**

51 Int. Cl.:

B23D 61/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.03.2013** **E 13161837 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.04.2015** **EP 2656953**

54 Título: **Sierra de alambre y alambre para cortar un material**

30 Prioridad:

26.04.2012 FR 1253855

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

05.06.2015

73 Titular/es:

**COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET
AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES (50.0%)
Bâtiment "Le Ponant D" 25, rue Leblanc
75015 Paris, FR y
THERMOCOMPACT (50.0%)**

72 Inventor/es:

**PENOT, JEAN-DANIEL;
COUSTIER, FABRICE;
SANCHEZ, GÉRALD y
WEBER, XAVIER**

74 Agente/Representante:

LAZCANO GAINZA, Jesús

ES 2 537 293 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

Sierra de alambre y alambre para cortar un material

5 La invención se refiere a una sierra de alambre para cortar un material. La invención se refiere también a un alambre de corte para esta sierra de alambre. La invención se refiere en fin a un procedimiento de corte de un material.

Se conoce una sierra de alambre para cortar, por abrasión, materiales duros tales como ladrillos o lingotes de silicio. Esta sierra de alambre comprende típicamente:

10

- un alambre de corte recubierto de un recubrimiento que incluye partículas abrasivas;
- dos alambres guía, configurados para poner en movimiento el alambre de corte.

15 Típicamente, el contacto entre el alambre de corte y el material a cortar provoca vibraciones del alambre. Estas vibraciones pueden provocar que el alambre de corte se sale fuera de los alambres guía. Dicha salida compromete el funcionamiento de la sierra y puede tener consecuencias adversas sobre el material cortado.

20 La solicitud de patente US2011/126813 describe una sierra de alambre que limita estas vibraciones, al ajustar la velocidad de desplazamiento del alambre cuando se detectan vibraciones por un sensor de vibración del alambre. Esta sierra presenta muchos inconvenientes. En particular, la detección de las vibraciones necesita la presencia de un sensor, lo que aumenta el costo de la sierra.

25 En el estado de la técnica se conoce también la solicitud de patente JP2010167509A. Esta solicitud no aborda el problema técnico para reducir las vibraciones del alambre. En efecto, dicha solicitud busca obtener una mejor rugosidad sobre las superficies cortadas del material. Con este propósito, la solicitud describe un alambre de corte cuya sección transversal presenta caras laterales planas desprovistas de recubrimiento abrasivo. Estas caras laterales planas, que se describen como una característica técnica esencial de la solicitud, permiten que las partículas abrasivas móviles alisen las paredes del trazo de corte.

30 El estado de la técnica se conoce también por los documentos siguientes: DE3716943A1 y WO82/02511A1. El documento US 4 187 828 describe una sierra de alambre y un alambre de corte según el preámbulo de las reivindicaciones 1 y 2.

35 Existe entonces un interés por una sierra de alambre que permita cortar materiales duros, que reduzca las vibraciones del alambre de corte.

La invención propone entonces una sierra de alambre conforme a la reivindicación 1.

40 La baja rugosidad de la cara posterior del alambre de corte permite reducir las vibraciones causadas por el contacto entre los alambres guía y las partículas abrasivas, manteniendo una buena velocidad de corte gracias a las partículas abrasivas de la cara frontal. Además, la forma circular de la sección del núcleo central facilita el modelado físico del alambre y en particular el cálculo de los modos de vibración del alambre. Esto permite predecir con mayor eficacia el comportamiento mecánico del alambre durante el corte, y así prevenir la aparición de vibraciones al ajustar los parámetros de corte.

45 La invención tiene también como objetivo un alambre de corte para la realización de la sierra de alambre anterior, este alambre de corte es conforme a la reivindicación 2.

50 Los modos de realización de esta sierra de alambre o de este alambre de corte pueden comprender una o muchas de las características de las reivindicaciones dependientes de esta sierra de alambre o de este alambre de corte.

Estos modos de realización presentan además las ventajas siguientes:

- 55
- el valor del ángulo $2*\alpha$ permite limitar la extensión del primer revestimiento, con el objetivo de evitar que partículas abrasivas entren en contacto con las paredes de los alambres guía;
 - el segundo recubrimiento que forma las paredes laterales del alambre permite disminuir, por alisado, la rugosidad de las superficies cortadas en el material; el valor del ángulo $2*\alpha$ permite así limitar la extensión del primer recubrimiento, de manera que el segundo recubrimiento pueda entrar en contacto con las superficies recortadas.
- 60
- el valor del ángulo $2*\theta$ permite evitar que las partículas abrasivas del segundo recubrimiento entren en contacto con las paredes de los alambres guía;
 - el tercer recubrimiento que forma la cara posterior y directamente depositado sobre el segundo recubrimiento permite limitar las vibraciones del alambre ;

La invención trata también sobre un procedimiento de corte de un material, conforme a la reivindicación 7.

Los modos de realización de este procedimiento pueden presentar una o muchas de las características de las reivindicaciones dependientes de este procedimiento.

5

Estos modos de realización presentan además las ventajas siguientes:

10

- la variación de al menos un parámetro de corte durante la puesta en marcha de la sierra o del desplazamiento del alambre de corte permite limitar las vibraciones del alambre de corte; de esta manera se facilita la puesta en contacto del alambre con la superficie del material a cortar ;
- la variación de al menos un parámetro de corte, durante el corte del material, permite también limitar la aparición de vibraciones del alambre de corte ;
- el alambre de corte que presenta un primer recubrimiento que se extiende de manera discontinua, con una periodicidad seleccionada en función de las frecuencias fundamentales de vibración, permite limitar la aparición de vibraciones del alambre de corte.

15

La invención se comprenderá mejor con la lectura de la descripción que sigue, dada únicamente a modo de ejemplo no limitativo y hecha con referencia a los diseños en los cuales :

20

- la figura 1 es una ilustración esquemática de una sierra de alambre para cortar un material ;
- la figura 2 es una vista en corte transversal de un alambre de corte que reposa sobre una alambre guía de la sierra de alambre de la figura 1 ;
- la figura 3 es una vista en corte transversal del alambre de corte de la figura 2 durante el corte de un material ;
- las figuras 4 a 7 son vistas en corte transversal de otros modos de realización del alambre de corte de la figura 2 ;
- la figura 8 es un organigrama de un procedimiento de corte de un material ;
- la figura 9 es una ilustración esquemática de otro modo de realización de la sierra de alambre de la figura 2 ;
- la figura 10 es un organigrama de un procedimiento de corte de un material que utiliza la sierra de alambre de la figura 9.

25

30

En estas figuras, se utilizan las mismas referencias para indicar los mismos elementos.

En el transcurso de esta descripción, las características y funciones bien conocidas por los expertos en la técnica no se describen en detalle.

35

La figura 1 representa una sierra de alambre 2 para cortar un material 150. Esta sierra 2 comprende:

40

- un alambre de corte 4 ;
- dos alambres guía 20, 21, entre los cuales se extiende una longitud L de alambre 4 tensado.

Los alambres guía 20, 21 son, por ejemplo, idénticos. A continuación, sólo el alambre guía 20 se describe en detalle.

La figura 2 representa el alambre 4 que reposa sobre el alambre guía 20.

45

El alambre 4 comprende un núcleo central 6. La sección de este núcleo 6 es de forma circular y de diámetro d. La sección del núcleo 6 se centra sobre un eje longitudinal 10.

Típicamente, el núcleo central 6 se presenta en forma de un alambre simple que presenta una resistencia a la tracción superior a 1000 MPa o 3000 MPa y, generalmente, inferior a 5000 MPa.

50

El alargamiento a la ruptura del núcleo 6 es superior al 1 % y, de preferencia, superior al 2 %. Por el contrario, el alargamiento en la ruptura del núcleo 6 no debe ser demasiado grande y, por ejemplo, debe permanecer por debajo del 10 % o 5 %. El alargamiento a la ruptura representa aquí el aumento de la longitud del núcleo 6 antes de que el mismo se rompa.

55

Por ejemplo, el diámetro d se encuentra entre 70 μm y 1 mm. El diámetro d depende con frecuencia del material 150 que se desea cortar. Por ejemplo, el diámetro d se encuentra entre 200 μm y 450 μm o 1 mm para cortar lingotes de silicio mientras que este se encuentra entre 70 μm y 100 μm o 200 μm para cortar discos de silicio conocidos con el término inglés de « wafer ».

60

Por ejemplo, el núcleo 6 se realiza de acero al carbono o de acero inoxidable ferrítico o de acero latonado. La masa lineal m del núcleo 6 se encuentra, por ejemplo, entre 10 mg/m y 500 mg/m y, de preferencia, entre 50 mg/m y 200 mg/m.

- Las alambres guía 20, 21 se configuran para poner en movimiento el alambre 4 a lo largo del eje longitudinal 10. El alambre guía 20 comprende dos paredes 22, 24 dispuestas a uno y otro lado del alambre 4, para guiar este alambre 4. Estas paredes 22, 24 están solamente en contacto con una cara posterior 26 del alambre 4. Aquí, estas paredes 22, 24 son planas. Este contacto tiene lugar en la periferia del alambre 4, a lo largo de dos rectas de contacto 28, 30 y únicamente entre estas dos rectas. La cara posterior 26 se delimita por las dos rectas 28, 30. En la figura 2, estas rectas 28, 30 se representan por puntos, puesto que ellas son perpendiculares al plano de la hoja. Estas rectas 28, 30 son paralelas al eje longitudinal 10. Ellas definen, en un plano transversal perpendicular al eje longitudinal 10, un primer triángulo cuyo vértice situado sobre el eje 10 forma un ángulo $2*\epsilon$.
- Aquí, las paredes 22, 24 forman, en el plano transversal, un ángulo en el vértice igual a $2*\beta$, tal que, expresado en grados, $\beta + \epsilon = 90^\circ$.
- Por ejemplo, $2*\beta$ es igual a 80° . Por ejemplo, el ángulo $2*\epsilon$ se encuentra entre 20° y 170° y, de preferencia, entre 20° y 150° , o entre 40° y 130° .
- El alambre 4 se destina para cortar el material 150 por fricción o abrasión. Este material 150 es duro. Aquí, se considera que un material es duro si su dureza en la escala de Vickers es superior a 400 Hv50 o superior o igual a 6 en la escala de Mohs. En esta descripción, las durezas de Vickers se expresan para una carga de 50 gramo fuerza, es decir para una fuerza de 0,49 N. Sin embargo, los expertos en la técnica saben que es necesario ajustar la carga en función del material sobre el cual se realizan las mediciones para que el tamaño de la huella Vickers sea inferior al espesor del material. Aquí, el alambre 4 se destina para cortar el silicio monocristalino o policristalino o además el zafiro o el carburo de silicio.
- Para este propósito, el alambre 4 comprende un primer recubrimiento 12, de espesor e_1 , que forma una cara frontal 8 del alambre 4. Este recubrimiento 12 se extiende de forma continua sobre el núcleo 6 a lo largo del 10. La rugosidad de la cara frontal es al menos dos veces superior a la rugosidad de la cara posterior. En esta descripción, la rugosidad es, por ejemplo, el valor eficaz de la rugosidad de superficie (« root mean square surface roughness » en idioma inglés) medida con ayuda de un perfilómetro óptico de barrido. Para este propósito, el recubrimiento 12 comprende una pluralidad de partículas abrasivas 14, mantenidas sobre el núcleo 6 por un aglutinante 16.
- La rugosidad inferior de la cara posterior 26, con respecto a la cara frontal 8, a nivel de contacto con las paredes 22, 24, permite reducir el desgaste mecánico de estas paredes 22, 24. En efecto, la presencia de partículas abrasivas en todo el contorno del alambre 4 tendería a desgastar, por abrasión, las caras 22 y 24 que están en contacto con el alambre 4. Esta rugosidad inferior permite aumentar así la vida útil de el alambre guía 20.
- La dureza, o microdureza, de las partículas abrasivas 14 es superior a la dureza del material 150 a cortar. Por ejemplo, la dureza, o microdureza, de una partícula abrasiva 14 es superior a 430 Hv50 en la escala de Vickers y, de preferencia, superior o igual a 800 Hv50 o 1 000 Hv50. En la escala de Mohs, la dureza, o microdureza, de las partículas 14 es superior a 7 o 8. Por ejemplo, las partículas 14 son granos de diamante.
- El diámetro de estas partículas 14 se encuentra entre $1 \mu\text{m}$ y $500 \mu\text{m}$ y es inferior al tercio del diámetro del núcleo 6. Aquí, el diámetro de las partículas 14 se encuentra entre $5 \mu\text{m}$ y $50 \mu\text{m}$ y, de preferencia, entre $10 \mu\text{m}$ y $40 \mu\text{m}$. Cuando estas partículas 14 no son esferas, el diámetro corresponde al mayor diámetro hidráulico de estas partículas.
- El aglutinante 16 tiene la función de mantener las partículas abrasivas 14 fijas sin ningún grado de libertad sobre el núcleo 6. De preferencia, el aglutinante 16 es un aglutinante metálico, ya que estos aglutinantes son más duros que las resinas y permiten entonces mantener de manera más eficaz las partículas abrasivas 14 sobre el núcleo 6. Aquí, el aglutinante es el níquel.
- El aglutinante 16 presenta un espesor e'_1 , definido como el espesor medido en una porción de recubrimiento 12 que no comprende partículas abrasivas 14, como se ilustra en la figura 2. El espesor e'_1 es aquí superior a $3 \mu\text{m}$ e inferior al 35 % del diámetro d . De preferencia, el espesor e'_1 es superior o igual a $0,5*D_1$ o a $0,8*D_1$, donde D_1 es el diámetro promedio de las partículas abrasivas 14. Típicamente, el espesor e'_1 es inferior al diámetro promedio D_1 .
- El espesor e_1 del recubrimiento 12 es la mayor distancia medida entre la superficie del núcleo 6 y la superficie exterior del recubrimiento 12, según una dirección radial a un círculo inscrito en la sección del alambre 4. En este modo de realización, el espesor e_1 corresponde al espesor del recubrimiento 12, medido en una porción de recubrimiento 12 que comprende una partícula abrasiva 14, como se ilustra en la figura 2.
- El primer recubrimiento 12 se extiende, en el plano transversal perpendicular al eje 10, únicamente y a todo lo ancho de la cara frontal 8. La cara frontal 8 se delimita por dos rectas 32, 34, paralelas al eje 10. Estas rectas 32, 34 definen con el eje 10, en el plano transversal, un segundo triángulo cuyo vértice situado sobre el eje 10 forma un ángulo $2*\alpha$. Este segundo triángulo es diametralmente opuesto al primer triángulo de ángulo con vértice $2*\epsilon$.

- 5 En este ejemplo, el alambre 4 comprende un segundo recubrimiento 36. El segundo recubrimiento 36 se extiende, en el plano transversal, sobre las caras laterales 40, 42. Las caras laterales 40, 42 se encuentran entre las caras frontal 8 y posterior 26 del alambre. Sobre cada cara lateral 40, 42, el segundo recubrimiento 36 se extiende únicamente entre la cara frontal 8 y, respectivamente, dos rectas laterales 31, 33 paralelas al eje 10 y situadas a uno y otro lado de la cara frontal 8. Estas rectas 31, 33 definen, con el eje 10, en el plano transversal, un tercer triángulo cuyo vértice situado sobre el eje 10 forma un ángulo $2*\theta$.
- 10 Este recubrimiento 36 comprende una pluralidad de partículas abrasivas 37 mantenidas sobre el núcleo 6 por un aglutinante 38. Por ejemplo, el aglutinante 38 es idéntico al aglutinante 16. El aglutinante 38 tiene un espesor e_2 comprendido aquí entre $5\ \mu\text{m}$ y $40\ \mu\text{m}$. Por ejemplo, las partículas abrasivas 37 se componen del mismo material que las partículas abrasivas 14. Aquí, el espesor e_2 corresponde al espesor del recubrimiento 36, medido en una porción de recubrimiento 36 que comprende una partícula abrasiva 37, como se ilustra en la figura 2.
- 15 El segundo recubrimiento 36 es menos abrasivo que el primer recubrimiento 12. La rugosidad del segundo recubrimiento 36 es al menos dos veces inferior a la rugosidad del primer recubrimiento 12. Esta rugosidad es, cuanto más, ocho veces inferior a la rugosidad del primer recubrimiento 12. Con este fin, las partículas 37 presentan un diámetro promedio inferior al diámetro promedio de las partículas 14. Por ejemplo, el diámetro de las partículas 37 es inferior o igual a $20\ \mu\text{m}$ o $15\ \mu\text{m}$. Este diámetro es, por ejemplo, superior a $3\ \mu\text{m}$ o $5\ \mu\text{m}$.
- 20 El ángulo α , expresado en grados, es estrictamente inferior a $\alpha_{\text{max}1}$. $\alpha_{\text{max}1}$ es igual al arco-seno $[(\Phi+2*\eta_2)/(\Phi+2*\eta_1)]$, donde :
- Φ es el diámetro del círculo mayor inscrito en la sección transversal del alambre, centrándose este círculo inscrito en el eje 10,
 - η_1 es la mayor distancia medida entre este círculo inscrito y la extremidad de una partícula 14 de la cara frontal, según una dirección radial al círculo inscrito,
 - η_2 es la mayor distancia medida entre este círculo inscrito y la extremidad de una partícula 37 de la cara lateral 40,42, según una dirección radial al círculo inscrito.
- 25
- 30 En este ejemplo, el círculo más grande inscrito en el alambre y centrado en el eje 10 se confunde con el contorno del núcleo 6. El diámetro Φ es entonces igual al diámetro d . De igual manera, las distancias η_1 y η_2 son, respectivamente, iguales al espesor e_1 y e_2 .
- 35 Gracias a esta elección del valor del ángulo $\alpha_{\text{max}1}$, como se ilustra en la figura 3, las caras laterales 40, 42 del alambre, recubiertas con el segundo recubrimiento 36, alisan las paredes 122, 124 del trazo de la sierra 126 (« kerf » en idioma inglés) formado en el material 150 por el corte. Las superficies de los trozos cortados del material 150 presentan así caras menos rugosas.
- 40 Así, el valor $\alpha_{\text{max}1}$ permite limitar la extensión del segundo recubrimiento 12 sobre el contorno del núcleo 6, con el fin de permitir que el segundo recubrimiento 36 entre en contacto con las paredes 122 y 124, lo que mejora el estado de la superficie del material 150.
- 45 De preferencia, en este modo de realización, el valor de α es superior o igual a $0,8*\alpha_{\text{max}1}$ y estrictamente inferior a $\alpha_{\text{max}1}$.
- Para evitar que el recubrimiento 36 entre en contacto con las paredes 22, 24 de el alambre guía 20, el ángulo θ es estrictamente superior a una cantidad θ_{min} . Aquí, θ_{min} es igual a $(\epsilon + \text{arco-coseno}[\Phi/(\Phi+2*\eta_2)])$.
- 50 La figura 4 representa un alambre 60 apto para usarse en lugar del alambre 4. Este alambre 60 es idéntico al alambre 4, excepto que se omite el recubrimiento 36. En este modo de realización, el núcleo 6 se expone directamente al exterior, a la altura de las caras laterales. Para que el núcleo 6 no se desgaste por el material 150 durante el corte, el ángulo α , expresado en grados, es superior o igual a $\alpha_{\text{min}1}$, e inferior a $\alpha_{\text{max}2}$.
- 55 El valor $\alpha_{\text{min}1}$ es igual al arco-seno $[\Phi/(\Phi+2*\eta)]$, donde :
- Φ es el diámetro del mayor círculo inscrito en la sección transversal del alambre, centrándose este círculo inscrito sobre el eje 10, y
 - η es la mayor distancia medida entre el círculo inscrito y la extremidad de una partícula 14 de la cara frontal, según una dirección radial al círculo inscrito.
- 60 En este ejemplo, el círculo mayor inscrito en el alambre y centrado en el eje 10 se confunde con el contorno del núcleo 6. El diámetro Φ es entonces igual al diámetro d . De igual manera, la distancia η es igual al espesor e_1 .
- Así, el valor $\alpha_{\text{min}1}$ permite maximizar la extensión del recubrimiento 12 sobre el contorno del núcleo 6, con el fin de

acelerar la velocidad de corte del material 150 y evitar que el núcleo 6 entre en contacto directo con las paredes 122, 124.

5 El valor $\alpha_{\max 2}$ es igual a $(180^\circ - \varepsilon - \arccos[\Phi/(\Phi+2*\eta)])$, para impedir que el recubrimiento 12 entre en contacto con las paredes 22, 24 de el alambre guía 20, lo que limita las vibraciones del alambre 60.

Por ejemplo, $2*\alpha$ se encuentra entre 45° y 180° y, de preferencia, entre 50° y 150° o 60° y 95° .

10 La figura 5 representa un alambre 70 apto para usarse en lugar del alambre 4. Este alambre 70 es idéntico al alambre 4, excepto que el recubrimiento 36 forma una cara posterior 78 del alambre 70. Esta cara posterior 78 se destina a entrar en contacto con el alambre guía 20. En este caso, el ángulo α , expresado en grados, es inferior al valor $\alpha_{\max 1}$.

15 La figura 6 representa un alambre 90 apto para utilizarse en lugar del alambre 4. Este alambre 90 es idéntico al alambre 70, excepto que la cara 78 se recubre con un tercer recubrimiento 102 para formar una cara posterior 104 del alambre 90. Aquí, el recubrimiento 102 se extiende entre las rectas 31 y 33. Esta cara posterior 104 se destina a entrar en contacto directo con el alambre guía 20. Este tercer recubrimiento 102 presenta una rugosidad al menos dos veces inferior a la rugosidad del recubrimiento 36 y, de preferencia, al menos diez veces inferior. Aquí, el tercer recubrimiento 102 no contiene partículas abrasivas cuyos diámetros sean superiores a $1 \mu\text{m}$ o $0,5 \mu\text{m}$. Este tercer recubrimiento 102 es, por ejemplo, una capa del aglutinante 16.

20 La figura 7 representa un alambre 110 apto para usarse en lugar del alambre 4. Este alambre 110 es idéntico al alambre 60, excepto que el alambre 110 comprende un recubrimiento 112, directamente depositado sobre el núcleo 6 y que se extiende sobre la periferia del núcleo 6, a excepción de la cara frontal. Este recubrimiento 112 forma entonces una cara frontal 118 del alambre 110, destinada a entrar en contacto directo con el alambre guía 20. Este recubrimiento 112 presenta una rugosidad al menos diez veces inferior a la rugosidad del primer recubrimiento 12. Aquí, el recubrimiento 112 no contiene partículas abrasivas cuyos diámetros sean superiores a $1 \mu\text{m}$ o $0,5 \mu\text{m}$. Este recubrimiento presenta un espesor e_3 . Este recubrimiento 112 no debe frotarse contra las paredes 122, 124. Para eso, el ángulo α , expresado en grados, es superior o igual al valor $\alpha_{\min 1}$, e inferior a $\alpha_{\max 2}$.

25 En este ejemplo, para el cálculo del valor $\alpha_{\min 1}$, el mayor círculo inscrito en el alambre 110 y centrado en el eje 10 tiene por diámetro Φ igual a $d+2e_3$. La distancia η es igual a (e_1-e_3) .

30 El funcionamiento de la sierra 2 para cortar el material 150 va a describirse ahora, en referencia al procedimiento de la figura 8.

35 Durante una etapa 200, se proporciona el alambre 4 y se extiende entre las alambres guía 20, 21 con una tensión mecánica T, por ejemplo comprendida entre 10 N y 50 N y, de preferencia, comprendida entre 20 N y 30 N.

40 Durante una etapa 202, la sierra 2 se pone en marcha. El alambre 4 se pone en movimiento a lo largo de su eje 10 hasta alcanzar una velocidad v. Por ejemplo, esta velocidad v se encuentra entre 5 m/s y 15 m/s.

45 Durante una etapa 204, el material 150 se desplaza hacia el alambre 4 con una velocidad V_m , para poner la superficie a cortar del material 150 en contacto directo con el primer recubrimiento 12 del alambre 4. Por ejemplo, el material 150 se desplaza siguiendo la dirección ilustrada por la flecha 162 de las figuras 1 o 9. La etapa 204 dura hasta que el material 150 entra en contacto con el alambre 4.

50 Durante una etapa 206, el material se corta, por abrasión o por frotación, por las partículas abrasivas 14 del primer recubrimiento 12. Durante esta etapa, el material 150 continúa desplazándose hacia el alambre 4, a medida que avanza el corte, hasta que el material 150 se corte.

55 Debido a que el núcleo 6 es de sección circular, el alambre 4 puede modelarse como una cuerda tensada de longitud L entre las dos alambres guía 20, 21, tanto que este no esté en contacto directo con el material 150. Se puede entonces calcular la frecuencia fundamental f de los modos propios del alambre 4. Esta frecuencia f, expresada en Hertz, se determina por la expresión $f = 1/(2xL) x \sqrt{T/m}$. Las vibraciones del alambre se limitarán si el alambre 4 no se somete a excitaciones mecánicas cuya frecuencia es igual a la frecuencia fundamental f o a la frecuencia de un armónico de esta frecuencia fundamental f. Estos armónicos poseen una frecuencia $f_n = n*f$, donde n es un número entero diferente de cero. En este modo de realización, para limitar las vibraciones del alambre 4, durante las etapas 202 o 204, la sierra 2 se programa para hacer variar al menos uno de los parámetros de corte seleccionado en el grupo compuesto por la velocidad v, la tensión T o la velocidad V_m de desplazamiento del material 150, permaneciendo constantes los otros parámetros de este grupo. Aquí, las vibraciones de este parámetro presentan una densidad espectral de potencia promedio, cuya amplitud alcanza un máximo A_{\max} para una frecuencia diferente de f o de f_n , y cuya amplitud para cada una de las frecuencias f_n es cuanto más igual al 5 % o 2 % del máximo A_{\max} . Ventajosamente, el máximo A_{\max} se alcanza para una frecuencia estrictamente inferior a la frecuencia f.

65 Al reducir las vibraciones del alambre 4 durante las etapas 202 y 204, se facilita la puesta en contacto del alambre 4 con

la superficie a cortar del material 150. La precisión del posicionamiento del trazo de la sierra 126 se mejora así. En particular, el riesgo de un salto incontrolado del alambre 4 durante esta puesta en contacto puede reducirse.

5 Aquí, la tensión T es igual a 25 N, la longitud L es igual a 1 m, la masa lineal m es igual a 125 mg/m; la frecuencia fundamental f de las vibraciones del alambre 4 es entonces aquí igual a aproximadamente 223 Hz.

10 Durante la etapa 206, el alambre 4 puede modelarse también por dos cuerdas tensadas cuando está en contacto con el material 150. Las frecuencias fundamentales f_1 , f_2 de los modos propios de cada uno de los segmentos del alambre 4, expresados en Hertz, se dan entonces, respectivamente, por la expresión $f_1 = 1/(2 \times L_1) \times \sqrt{T/m}$ y $f_2 = 1/(2 \times L_2) \times \sqrt{T/m}$. L_1 y L_2 son, respectivamente, las longitudes del alambre 4 libre entre el material 150 y ambas alambres guía 20, 21, tales que $L = L_1 + L_2 + C$. La longitud de corte C se define como la longitud del alambre entre los dos puntos más distantes del alambre en contacto con el material 150 a cortar. Aquí, el material 150 posee una sección transversal de forma rectangular; la longitud de corte C es entonces constante. Así, durante la etapa 206, cuando el alambre 4 está en contacto directo con el material 150, la variación de al menos uno de los parámetros de corte para limitar las vibraciones del alambre 4 se realiza en función de estos valores de frecuencias f_1 y f_2 y de sus respectivos armónicos $n \times f_1$ y $n \times f_2$.

20 Por ejemplo, durante la etapa 206, el material 150 se desplaza por intermitencia, es decir que la velocidad V_m varía periódicamente en el curso de la etapa 206, con un período T_m , entre un primer valor V_{m1} y un segundo valor V_{m2} . Aquí, V_{m1} es igual a 0 mm/s o 0,5 mm/s. V_{m2} se encuentra aquí entre 1 mm/s y 10 mm/s o entre 2 mm/s y 8 mm/s. El período T_m se selecciona para que el máximo $A_{m\max}$ de la densidad espectral de potencia promedio se produzca para frecuencias diferentes de f_1 y f_2 y de sus respectivos valores armónicos. De preferencia, el período se selecciona para que este máximo se produzca a una frecuencia estrictamente inferior a f_1 y f_2 . Los otros parámetros se mantienen aquí constantes.

25 Ventajosamente, además, la velocidad v del alambre o la velocidad V_m de desplazamiento se ajustan durante la etapa 206, con el fin de limitar la aparición de vibraciones autoinducidas del alambre 4. Tales vibraciones se conocen por los expertos en la técnica bajo el término de « tirón » o de « vibraciones de fábrica ».

30 La figura 9 representa un alambre 140, apto para usarse en lugar del alambre 4. Este alambre 140 es idéntico al alambre 4, excepto que el primer recubrimiento 12 se extiende de manera discontinua sobre el núcleo 6 a lo largo del eje 10, formando bandas 142 sucesivas separadas regularmente espaciadas. Cada una de estas bandas 142 se delimita a cada lado por los primeros 152, 156 y segundo 154, 158 planos transversales del alambre 140, sucediéndose estos planos en el sentido del desplazamiento 160 del alambre 140. El período de espaciamiento w entre dos bandas inmediatamente vecinas una de otra se define aquí como la distancia, medida a lo largo del eje 10, entre los dos primeros planos 152, 156 inmediatamente sucesivos.

40 El valor de w se selecciona para limitar la aparición de vibraciones del alambre 140. De preferencia, para evitar generar vibraciones sobre el material 150, las bandas 142 del alambre 140 deben estar apoyadas sobre la superficie del material 150 en al menos dos puntos durante el desplazamiento del alambre 140. Para eso, es necesario que el período w sea inferior a C/2 y, de preferencia, inferior a C/3. Por otra parte, para evitar que el paso repetido de las bandas 142 sobre el material 150 no genere excitaciones a una frecuencia f_0 , es necesario que la velocidad v sea inferior a $w \times f_0$. Para un valor de v dado, el valor de w se selecciona con el objetivo de evitar generar excitaciones a una frecuencia cerca de los modos propios del alambre 140. Distribuyendo periódicamente las bandas 142 a lo largo del eje 10 del alambre 140 con un período w seleccionado así, se limita la aparición de vibraciones del alambre 140. Estos modos propios del alambre 140 pueden ser diferentes según el alambre 140 está o no en contacto directo con el material 150.

50 Mientras que el alambre 140 no está en contacto con el material 150, el alambre 140 puede modelarse como una cuerda tensada de longitud L. La frecuencia fundamental f, de los modos propios del alambre 140 se define por la expresión $f = 1/(2 \times L) \times \sqrt{T/m}$. Así, para una velocidad v dada, el período w entre las bandas 142 debe encontrarse entre v/f y C/2 y, de preferencia, entre v/f y C/3. El período w es entonces superior o igual a $2 \times v \times L \times \sqrt{m/T}$ e inferior a C/2 y, de preferencia, inferior a C/3. Aquí, la longitud de corte C es igual a 156 mm ; w se encuentra entonces entre 45 mm y 52 mm.

55 Cuando el alambre 140 está en contacto con el material 150, este alambre 140 puede modelarse como dos cuerdas tensadas de longitudes L_1 y L_2 , dispuestas a uno y otro lado del material 150, entre un extremo del material y, respectivamente, cada una de las alambres guía, como se ilustra en la figura 9. Las frecuencias fundamentales de los modos propios de cada uno de los segmentos libres del alambre 140, expresados en Hertz, están dadas entonces, respectivamente, por las expresiones $f_1 = 1/(2 \times L_1) \times \sqrt{T/m}$ y $f_2 = 1/(2 \times L_2) \times \sqrt{T/m}$

60 En el caso donde el material a cortar se centra con respecto al alambre 140, las longitudes L_1 y L_2 son iguales a (L-C)/2. El período w es entonces superior o igual a $v \times (L - C) \times \sqrt{m/T}$ e inferior a C/2 y, de preferencia, inferior a C/3. Aquí, la longitud de corte C es igual a 156 mm ; w se encuentra entonces entre 19 mm y 52 mm. En la práctica, la amplitud de

las vibraciones cuando el alambre está en contacto con el material es más importante que durante la aproximación del alambre. El mayor intervalo de valores de w puede preferirse entonces, con el fin de no plantear restricciones demasiado estrictas en la realización del alambre.

5 El funcionamiento de la sierra 3 para cortar el material 150 con el alambre 140 se describirá a continuación, con referencia al procedimiento de la figura 10.

10 Ventajosamente, durante una etapa 208, se proporciona el alambre 140 y se instala sobre una sierra 3, idéntica a la sierra 2 excepto que ella no comprende el alambre 4. Esta etapa es idéntica a la etapa 200, excepto que el alambre 140 se instala en lugar del alambre 4.

La etapa 208 se sucede de etapas 210, 212, 214 idénticas, respectivamente, a las etapas 202, 204, 206, excepto que, ventajosamente, durante la etapa 214, los parámetros de corte no varían.

15 Muchos otros modos de realización son posibles.

Por ejemplo, las paredes 22, 24 no son necesariamente planas. Como variante, la unión de las paredes 22, 24 presenta una sección transversal en forma de « U ».

20 Las partículas 14 pueden realizarse de numerosos materiales abrasivos diferentes. Por ejemplo, ellas pueden realizarse en SiC, en SiO₂, en WC, en Si₃O₄, en nitruro de boro, en CrO₂, o en óxido de aluminio.

25 El aglutinante 16 puede realizarse también de otro material diferente de un metal. Por ejemplo, como variante, el aglutinante 16 es una resina.

Como variante, el recubrimiento 36 es idéntico al recubrimiento 12.

30 En otro modo de realización del alambre 4, el recubrimiento 12 se reemplaza por un recubrimiento multicapa, que comprende una pluralidad de capas de materiales de características distintas, depositándose estas capas unas sobre otras. Este recubrimiento multicapa incluye, por ejemplo:

- una primera capa que comprende un recubrimiento idéntico al recubrimiento 36 y depositado directamente sobre el núcleo 6 ;
- una segunda capa que comprende un recubrimiento idéntico al recubrimiento 12 y depositado directamente sobre la primera capa.

35 Los diferentes modos de realización del alambre 4, en particular los descritos en referencia a las figuras 4 a 7, se aplican también al alambre 140.

40 La longitud de corte C no es necesariamente una constante y puede calcularse a medida que avanza el material 150, a partir de la forma conocida de la sección transversal de este material.

45 El aglutinante 16 puede cubrir todo o parte de las partículas abrasivas 14 del recubrimiento 12, por ejemplo cuando el alambre 4 viene de fabricarse. Lo mismo ocurre para el aglutinante 38 y las partículas 37.

50 El alambre 4 o 140 puede cortar más de un material 150 a la vez. Por ejemplo, el alambre 4 o 140 puede cortar simultáneamente dos materiales, con las longitudes de corte respectivas C₁ y C₂. En este caso, el alambre 4 o 140 presenta tres partes libres, sobre las cuales el alambre no está en contacto con ninguno de los materiales a cortar. Cada una de estas partes 4 o 140 puede modelarse como una cuerda tensada, que presenta una frecuencia fundamental de los modos propios de vibración. Así, durante las etapas 202 y 204, la variación de al menos uno de los parámetros de corte para limitar las vibraciones del alambre 4 se realiza en función de estos valores de frecuencias fundamentales. Igualmente, cuando el alambre 140 está en contacto con estos dos materiales, el período w se define en función de estas frecuencias fundamentales.

55 Las etapas 202, 204, 206 del procedimiento de corte pueden llevarse a cabo independientemente de la presencia del recubrimiento 36 sobre el alambre 4. Lo mismo ocurre para las etapas 208, 210, 212 y 214 en referencia al alambre 140.

Reivindicaciones

1. Sierra de alambre (2, 3) para cortar un material (150), que contiene :

- 5 - un alambre de corte (4, 60, 70, 90, 110, 140) que comprende:
- un núcleo central (6) que se extiende a lo largo de un eje longitudinal (10) y cuya sección, en un plano transversal perpendicular al eje longitudinal, es circular;
 - una cara frontal redondeada (8), que comprende un primer recubrimiento (12) abrasivo, depositado sobre el núcleo central y que comprende una pluralidad de partículas abrasivas (14) mantenidas sobre el núcleo central por un aglutinante (16), este recubrimiento se extiende, en el plano transversal, únicamente y sobre la totalidad del ancho de la cara frontal;
 - una cara posterior (26), destinada a ponerse en contacto con las paredes (22, 24) de una alambre guía (20, 21), esta cara posterior se delimita por dos rectas de contacto (28, 30) paralelas al eje longitudinal ;
- 10
- 15 - dos alambres guía, configurados para poner en movimiento el alambre de corte a lo largo de su eje longitudinal, cada alambre guía comprende dos paredes dispuestas a uno y otro lado del alambre de corte para guiar este alambre de corte, al estar estas paredes en contacto directo con el alambre de corte a lo largo de las dos rectas de contacto y únicamente entre estas dos rectas de contacto;
- 20 - la rugosidad de la cara posterior es al menos dos veces inferior a la rugosidad de la cara frontal;
- y **caracterizada porque** :
- 25 - el alambre de corte comprende un segundo recubrimiento (36), cuya rugosidad es al menos dos veces inferior a la del primer recubrimiento (12) y cuanto más ocho veces inferior a la del primer recubrimiento, este segundo recubrimiento recubre al menos las caras laterales (40, 42) del alambre de corte, estas caras laterales se sitúan entre las caras posterior y frontal ;
- 30 - la cara frontal se delimita por dos rectas (32, 34) paralelas al eje longitudinal (10), estas dos rectas, con el eje longitudinal, en el plano transversal definen un segundo triángulo cuyo vértice situado sobre el eje longitudinal forma un ángulo 2α , tal que α , expresada en grados, es inferior o igual al arco-seno $[(\Phi+2\eta_2)/(V+2\eta_1)]$, donde :
- 35
- Φ es el diámetro del mayor círculo inscrito en la sección transversal del alambre de corte, centrándose este círculo inscrito en el eje longitudinal,
 - η_1 es la mayor distancia medida entre este círculo inscrito y la extremidad de una partícula de la cara frontal, según una dirección radial al círculo inscrito, y
 - η_2 es la mayor distancia medida entre este círculo inscrito y la extremidad de una partícula de la cara lateral, según una dirección radial al círculo inscrito.
- 40

2. Alambre de corte (4, 60, 70, 90, 110, 140) para la realización de una sierra conforme a la reivindicación 1, que comprende :

- 45 - un núcleo central (6) que se extiende a lo largo de un eje longitudinal (10) y cuya sección, en un plano transversal perpendicular al eje longitudinal, es circular ;
- una cara frontal redondeada (8), que comprende un primer recubrimiento (12) abrasivo, depositado sobre el eje central y que comprende una pluralidad de partículas abrasivas (14) mantenidas sobre el eje central (16), este recubrimiento se extiende, en el plano transversal, únicamente y sobre la totalidad del ancho de la cara frontal ;
- 50
- una cara posterior (26), destinada a ponerse en contacto con las paredes (22, 24) de una alambre guía (20, 21), esta cara posterior se delimita por dos rectas de contacto (28, 30) paralelas al eje longitudinal ;
- 55 - la rugosidad de la cara posterior es al menos dos veces inferior a la rugosidad de la cara frontal ;
- y **caracterizado porque** :
- 60 - el alambre de corte comprende un segundo recubrimiento (36), cuya rugosidad es al menos dos veces inferior a la del primer recubrimiento (12) y cuanto más ocho veces inferior a la del primer recubrimiento, este segundo recubrimiento recubre al menos las caras laterales (40, 42) del alambre de corte, estas caras laterales se sitúan entre las caras posterior y frontal ;

- la cara frontal se delimita por dos rectas (32, 34) paralelas al eje longitudinal (10), estas dos rectas, con el eje longitudinal, en el plano transversal definen un segundo triángulo cuyo vértice situado sobre el eje longitudinal forma un ángulo 2α , tal que α , expresada en grados, es inferior o igual al arco-seno $[(\Phi+2\eta_2)/(\Phi+2\eta_1)]$, donde :

5

- Φ es el diámetro del mayor círculo inscrito en la sección transversal del alambre de corte, centrándose este círculo inscrito en el eje longitudinal,
- η_1 es la mayor distancia medida entre este círculo inscrito y la extremidad de una partícula de la cara frontal, según una dirección radial al círculo inscrito, y
- η_2 es la mayor distancia medida entre este círculo inscrito y la extremidad de una partícula de la cara lateral, según una dirección radial al círculo inscrito.

10

3.

Sierra de alambre según la reivindicación 1 o alambre de corte según la reivindicación 2, en el cual, sobre cada cara lateral (40, 42), el segundo recubrimiento (36) se extiende únicamente entre la cara frontal y, respectivamente, dos rectas laterales (31, 33) paralelas al eje longitudinal (10) y situadas a uno y otro lado de la cara frontal, definiendo estas rectas (31, 33), con el eje longitudinal (10), en el plano transversal, un tercer triángulo cuyo vértice situado sobre el eje longitudinal (10) forma un ángulo 2θ , tal que θ , expresado en grados, es superior a $(\epsilon + \text{arco-coseno}[\Phi/(\Phi+2\eta_2)])$.

15

4.

Sierra de alambre o alambre de corte según la reivindicación 3, en el cual el alambre (90) comprende un tercer recubrimiento (102) cuya rugosidad es al menos dos veces inferior a la del segundo recubrimiento (36), este tercer recubrimiento recubriendo el segundo recubrimiento únicamente sobre la cara posterior (104).

20

5.

Sierra de alambre según cualquiera de las reivindicaciones 1 y 3 a 4 o alambre de corte según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, en el cual el diámetro de las partículas abrasivas (14) del primer recubrimiento (12) se encuentra entre $5 \mu\text{m}$ y $50 \mu\text{m}$.

25

6.

Sierra de alambre según cualquiera de las reivindicaciones 1 y 3 a 5 o alambre de corte según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, en el cual la dureza de las partículas abrasivas (14), medida en la escala de Vickers, es superior o igual a 800 Hv50.

30

7.

Procedimiento de corte de un material, **caracterizado porque** este procedimiento comprende :

- la puesta en marcha (202) de una sierra de alambre conforme a cualquiera de las reivindicaciones 1 y 3 a 6, en la cual el alambre se tensa entre las dos alambres guía con una tensión mecánica T, presenta una longitud L entre estas dos alambres guía y se desplaza a una velocidad v en su dirección longitudinal ;
- el desplazamiento (204) del material a cortar hacia el alambre de corte, a una velocidad V_m , para ponerlo en contacto directo con el primer recubrimiento del alambre de corte;
- el corte (206) del material por las partículas abrasivas del primer recubrimiento.

35

8.

Procedimiento de corte según la reivindicación 7, en la cual, durante la puesta en marcha (202) de la sierra o durante el desplazamiento (204) del material, al menos un parámetro del procedimiento de corte seleccionado en el grupo compuesto por la velocidad v, la velocidad V_m y por la tensión T varía, permaneciendo constantes los otros parámetros de este grupo, presentando las variaciones de este parámetro una densidad espectral de potencia promedio cuya amplitud alcanza un máximo $A_{\text{máx}}$ para una frecuencia diferente de una frecuencia fundamental f y de todo múltiplo entero de la frecuencia fundamental f, y cuya amplitud para la frecuencia fundamental f y para cada uno de los múltiplos no nulos de la frecuencia fundamental f es cuanto más igual al 5% del máximo de amplitud $A_{\text{máx}}$, donde f es igual a $1/(2 \times L) \times \sqrt{T/m}$, m es la masa lineal del alambre.

45

9.

Procedimiento de corte según las reivindicaciones 7 o 8, en las cuales, durante el corte (206) del material, cuando el alambre está en contacto directo con el material, al menos un parámetro del procedimiento de corte seleccionado en el grupo compuesto por la velocidad v, la velocidad V_m y por la tensión T varía, permaneciendo constantes los otros parámetros de este grupo, presentando las variaciones de este parámetro una densidad espectral de potencia promedio cuya amplitud alcanza un máximo $A_{\text{máx}}$ para una frecuencia diferente de frecuencias fundamentales f_1 y f_2 y de todo múltiplo entero de estas frecuencias fundamentales f_1 y f_2 , y cuya amplitud para estas frecuencias fundamentales f_1 y f_2 para cada uno de los múltiplos no nulos de las frecuencias fundamentales f_1 y f_2 es cuanto más igual al 5% del máximo de amplitud $A_{\text{máx}}$, donde f_1 es igual a $1/(2 \times L1) \times \sqrt{T/m}$ y f_2 es igual a $1/(2 \times L2) \times \sqrt{T/m}$

55

donde :

60

- m es la masa lineal del alambre,
- L_1 es la longitud del alambre apto para vibrar como una cuerda tensada, situada inmediatamente a un lado del material, y
- L_2 es la longitud del alambre apto para vibrar como una cuerda tensada, situada inmediatamente al otro lado del material.

- 5 **10.** Procedimiento de corte según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, que comprende el material (208) de un alambre de corte, en el cual el primer recubrimiento se extiende a lo largo del eje longitudinal de manera discontinua formando bandas sucesivas separadas regularmente espaciadas con un período de espaciamiento w comprendido entre

$$\min\left(\frac{1}{2} \times L_1 \times \sqrt{T/m}^{\perp} ; \frac{1}{2} \times L_2 \times \sqrt{T/m}\right)$$

10 y $C/2$, donde :

- 10 - $\min(a ; b)$ es una función matemática que, aplicada a dos valores reales a y b distintos, retorna el menor de los valores a y b ;
- 15 - m es la masa lineal del alambre,
- C la longitud de corte, definida como la longitud del alambre entre los dos puntos más distantes del alambre en contacto con el material a cortar,
- L_1 es la longitud del alambre apto para vibrar como una cuerda tensada, situada inmediatamente a un lado del material, y
- L_2 es la longitud del alambre apto para vibrar como una cuerda tensada, situada inmediatamente al otro lado del material.

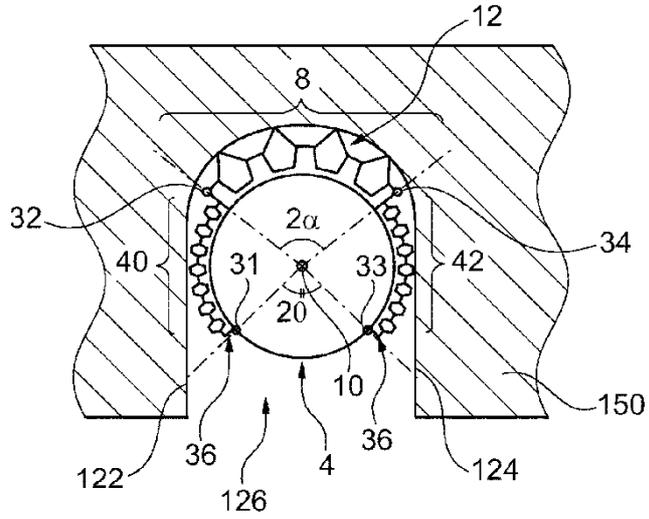


Fig. 3

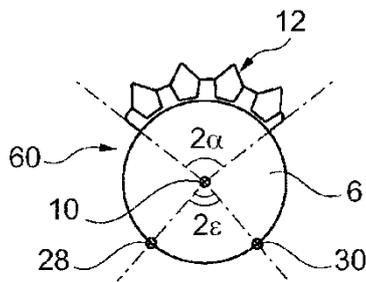


Fig. 4

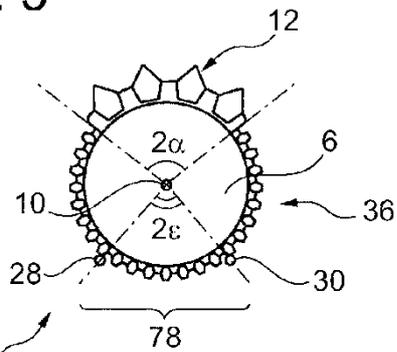


Fig. 5

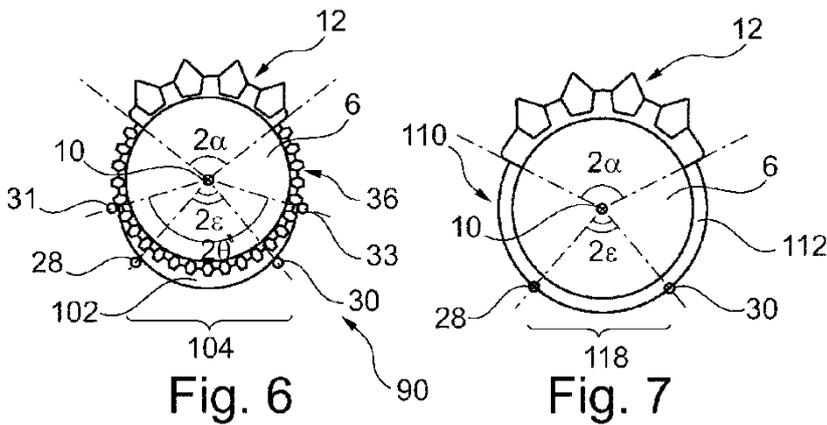


Fig. 6

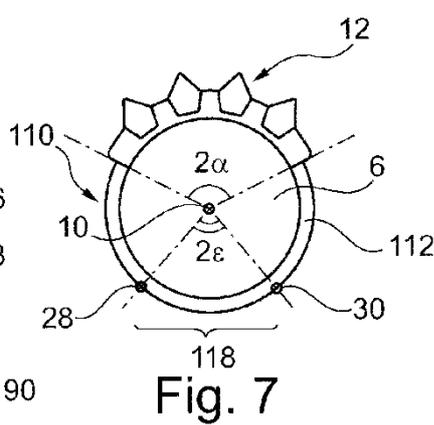


Fig. 7

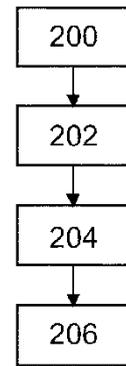


Fig. 8

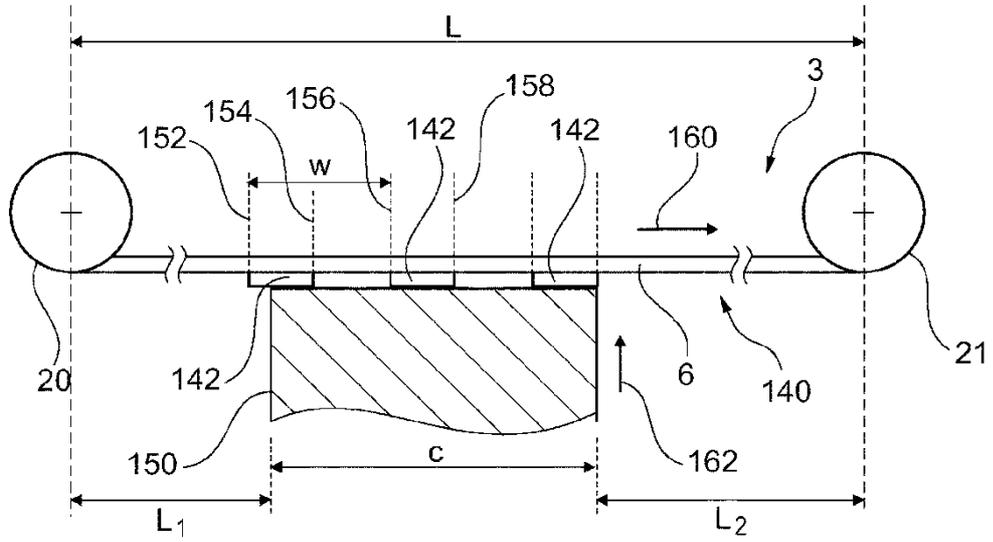


Fig. 9

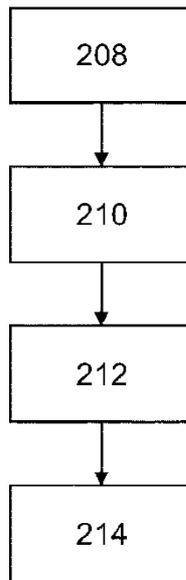


Fig. 10