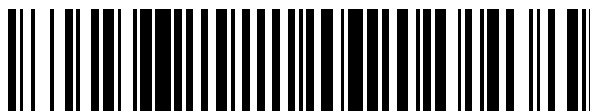


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 402 122**

51 Int. Cl.:

**G01B 17/02** (2006.01)

**B21B 38/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.05.2003** **E 03010645 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.02.2013** **EP 1369664**

54 Título: **Método y dispositivo para determinar la excentricidad de un bloque hueco**

30 Prioridad:

**04.06.2002 DE 10224635**

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

**29.04.2013**

73 Titular/es:

**SMS MEER GMBH (100.0%)  
OHLERKIRCHWEG 66  
41069 MÖNCHEGLADBACH, DE**

72 Inventor/es:

**SAUERLAND, MARTIN y  
HÄUSLER, KARL HEINZ**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**ES 2 402 122 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 y dispositivo para determinar la excentricidad de un bloque hueco

5 La presente invención hace referencia a un método para determinar la excentricidad de un bloque hueco, en donde el bloque hueco realiza un movimiento de traslación en el sentido de su eje longitudinal, antes, durante o después de su paso por un tren de laminación, mediante, al menos, un dispositivo de medición que puede detectar el grosor de la pared del bloque hueco en una posición longitudinal y periférica del bloque hueco, en donde el dispositivo de medición durante la medición se desplaza en el sentido del eje longitudinal y/o en el sentido periférico del bloque hueco, y en donde durante dicho desplazamiento se realiza un número de mediciones del grosor de la pared.

10 En una pluralidad de áreas de la técnica, se requieren tubos de acero que se pueden fabricar, por ejemplo, mediante un método en el que la materia prima conformada de manera cilíndrica, se moldea en un tren de laminación de cilindros cruzados, utilizando un punzón axial fijo para obtener un bloque hueco que presente una forma tubular. Para el moldeo de la materia prima conformada de manera cilíndrica, con el fin de obtener un tubo sin costuras, la materia prima se somete a una laminación sobre el punzón. Un método de esta clase se conoce, por ejemplo, de la patente EP 0 940 193 A2.

15 En el caso de los trenes de laminación reductores-desbastadores y en el caso de los trenes de laminación calibrados y reductores de tubos de acero sin costuras, el tubo a mecanizar pasa por un tren de laminación en el que se encuentran dispuestas en serie una pluralidad de cajas de laminación en el sentido de transporte del tubo. En cada caja de laminación se encuentran alojados cilindros que durante el proceso de laminación entran en contacto con el tubo respectivamente alrededor de una sección periférica definida. En conjunto, en cada caja de laminación interactúan una pluralidad de cilindros, por ejemplo, tres cilindros, de manera que el tubo entre en contacto con los cilindros esencialmente a lo largo de su periferia completa. De esta manera, el tubo se lamina hasta obtener un diámetro reducido, y además se logra una forma exacta de dicho tubo.

20 Después de la laminación, el tubo debe presentar una forma ideal, es decir, el contorno cilíndrico de la periferia exterior y el de la periferia interior, deben conformar dos círculos concéntricos. Sin embargo, efectivamente siempre existen tolerancias en el tubo finalizado, de manera que existe una excentricidad determinada del contorno del círculo de la periferia interior en relación con el contorno del círculo de la periferia exterior.

25 El parámetro de calidad decisivo en la fabricación de tubos, es el grosor de la pared del tubo que se mide y se monitoriza en el proceso de producción. Para determinar el grosor de la pared del tubo, se conocen los métodos de medición por ultrasonidos. Los métodos de medición de grosor por ultrasonidos de acuerdo con el método de reflexión de impulsos, determinan el grosor de la pared mediante la medición del tiempo de propagación de un impulso de ultrasonido.

30 Otro parámetro característico muy importante o bien, otro criterio de calidad importante para los bloques huecos y sus productos de partida, consiste en la excentricidad del bloque hueco. Para obtener dicho parámetro característico en una etapa de producción lo más temprana posible, se utilizan los dispositivos de medición del grosor de pared mencionados, en donde un dispositivo de medición del grosor de pared de esta clase se posiciona, por ejemplo, en la abertura de salida de un tren de laminación de cilindros cruzados. De esta manera, el grosor de pared se puede determinar en el proceso con un trabajo relativamente reducido. Después de que el bloque hueco haya rotado en la abertura de salida del tren de laminación de cilindros cruzados, con un dispositivo de medición de grosor de pared de esta clase, se puede determinar una cantidad de puntos de medición del grosor de pared a lo largo de la periferia del bloque hueco, que se pueden tomar como base para la determinación de la excentricidad.

35 En el caso de la excentricidad en cuestión, se trata no sólo de un desplazamiento excéntrico del diámetro exterior del bloque hueco en relación con el diámetro interior del bloque hueco, en donde dicho desplazamiento se realiza de manera constante o bien, fija a lo largo de la coordenada longitudinal del bloque hueco, sino que también la excentricidad "se mueve" en el sentido de la coordenada longitudinal del bloque hueco de manera que se obtiene un desarrollo helicoidal de la superficie interior del bloque hueco en relación con la superficie exterior del bloque hueco. Dicho desarrollo de la excentricidad está condicionado por el proceso de laminación en el tren de laminación de cilindros cruzados, de manera que el carácter de la periferia resulta similar al desarrollo de un sacacorchos. El desarrollo de dicha excentricidad se determina mediante el denominado espiral interior principal, cuya altura de paso o bien, longitud de paso se obtiene del proceso en el tren de laminación de cilindros cruzados, y en dicho punto a partir del ángulo de avance del tren de laminación de cilindros cruzados. El desarrollo de la excentricidad se repite periódicamente con la longitud de paso. Otras excentricidades de carácter periférico se presentan con una altura de paso importante o bien, con una frecuencia reducida, superpuesta, por ejemplo, por un calentamiento completo no uniforme del bloque en el horno de solera giratoria.

55 De la patente EP 1 102 033 A se conoce previamente un método para la medición sin contacto del grosor de pared caliente en línea, para detectar las estructuras no deseadas de la pared interior de un tubo, por ejemplo, polígonos

interiores que resultan interferentes. Para ello, se prevé que mediante el método de ultrasonidos por láser y utilizando un cabezal de medición, se pueda escanear un segmento de la pared del tubo a medir, durante el proceso de laminación en el sentido periférico. Además, se prevé que eventualmente mediante análisis matemáticos y mediante la observación de la simetría, se pueda reconstruir en un elemento ordenador el desarrollo de la pared de la sección transversal del tubo, sin que se proporcionen detalles para dicho fin.

La medición del desarrollo de la excentricidad a lo largo de la coordenada longitudinal del bloque hueco, es decir, la determinación de la superficie interior del bloque hueco en relación con la superficie exterior del bloque hueco a lo largo de la coordenada longitudinal del bloque hueco, resulta problemática por las siguientes razones:

La excentricidad principal, es decir, el espiral interior principal cuya altura de paso se obtiene mediante el ángulo de avance del tren de laminación de cilindros cruzados, es idéntica al "espiral de medición". Por dicho espiral se entiende el desarrollo del punto de contacto entre el bloque hueco y el dispositivo de medición del grosor de pared. Después de que el bloque hueco haya rotado en la abertura de salida del tren de laminación de cilindros cruzados, y cuando el dispositivo de medición del grosor de pared se encuentra dispuesto de manera fija, el punto de contacto entre el dispositivo de medición del grosor de pared y la superficie del bloque hueco se extiende en el espacio como espiral.

Mediante la igualdad de la longitud de paso del espiral interior principal con la altura de paso del "espiral de medición", con el dispositivo de medición del grosor de pared no se puede detectar el desarrollo espacial de la excentricidad a lo largo de la coordenada longitudinal del bloque hueco. Más bien, el dispositivo de medición del grosor de pared mide un grosor de pared más o menos constante, que se obtiene a lo largo del espiral de medición. Sin embargo, a partir de ello no se puede deducir el desarrollo espacial del espiral interior principal. Con dicho método o bien, con un sistema de esta clase, no se puede determinar la excentricidad esencial del bloque hueco. En particular, no se puede determinar la extensión espacial de la excentricidad a lo largo de la coordenada longitudinal del bloque hueco, hecho que, sin embargo, resulta deseable o bien, se requiere para una evaluación suficiente de la calidad.

Por lo tanto, el objeto de la presente invención consiste en recomendar un método y un dispositivo correspondiente, con el cual o bien, con los cuales se puede detectar la excentricidad del bloque hueco también en su extensión espacial a lo largo de la coordenada longitudinal del bloque hueco, y proporcionar particularmente una medida para la excentricidad que se pueda utilizar de manera eficiente para la práctica.

La solución de dicho objeto mediante la presente invención conforme al método, se caracteriza porque el desarrollo de la excentricidad del bloque hueco se representa aproximadamente como el desarrollo del grosor de la pared como una función de la coordenada longitudinal que se extiende en el sentido del eje longitudinal del bloque hueco, y del ángulo de rotación alrededor de la coordenada longitudinal de acuerdo con la relación

$$s(\phi, z) = s_0(z) + s_1(z) \cos(\phi + \delta(z)),$$

en donde

$S_0$  es el grosor de pared medio del bloque hueco,

$S_1$  es la amplitud del grosor de pared combinada con el grosor de pared medio  $S_0$ , y

$\delta$  es el ángulo de posición de la excentricidad circunferencial, que depende de la coordenada longitudinal

Además, el dispositivo de medición suministra los grosores de pared medidos durante el paso del bloque hueco, a un elemento ordenador que somete dichos grosores a una transformada de Fourier con el fin de determinar para el desarrollo funcional del grosor de pared como una función de la coordenada longitudinal y del ángulo de rotación, una aproximación de la forma

$$s(\phi, z) \cong s_0^* + \sum s_{i,1} \cos(\phi + 2\pi/p_i z + \xi_{i,1})$$

en donde

$s_0^*$  y  $s_{i,1}$  son los coeficientes de Fourier determinados para el grosor de pared del bloque hueco en la suma (i) del número (n) de elementos en serie de Fourier, y

$p_i$  y  $\xi_{i,1}$  son los coeficientes de Fourier para las alturas de paso o bien, para el ángulo de posición inicial en la suma (i) del número (n) de elementos en serie de Fourier, en donde la transformada de frecuencias es considerada por el movimiento del cabezal de medición.

5 El dispositivo de medición durante la medición se desplaza en el sentido del eje longitudinal y/o en el sentido periférico del bloque hueco, en donde durante dicho desplazamiento se realiza un número de mediciones del grosor de la pared. Presenta una especial importancia la preparación de acuerdo a la práctica, de los datos medidos del grosor de la pared.

El dispositivo de medición no permanece fijo durante la medición, sino que se desplaza en relación con el tren de laminación.

10 De esta manera, la excentricidad del bloque hueco se determina preferentemente en la zona de la abertura de salida de un tren de laminación, particularmente de un tren de laminación de cilindros cruzados. En el caso de un tren de laminación de cilindros cruzados se prevé la rotación del bloque hueco alrededor de su eje longitudinal antes, durante o después de su paso por el tren de laminación, particularmente durante su salida del tren de laminación.

15 De manera ventajosa, el desplazamiento del dispositivo de medición se realiza de manera que se repita cíclicamente.

Preferentemente, el dispositivo de medición durante la medición se desplaza en el sentido del eje longitudinal con la velocidad del bloque hueco, particularmente con la velocidad de salida del bloque hueco desde el tren de laminación.

20 Para determinar una cantidad de datos suficiente se prefiere que durante un desplazamiento exclusivo del dispositivo de medición en el sentido del eje longitudinal, dicho dispositivo realice un movimiento de elevación que corresponde, al menos, a media altura de paso, preferentemente, al menos, a una altura de paso completa de la excentricidad en el bloque hueco (es decir, a la altura de paso del espiral interior principal). En correspondencia, durante el desplazamiento exclusivo del dispositivo de medición en el sentido periférico del bloque hueco, se puede prever que dicho dispositivo de medición realice un movimiento pivotante que ascienda, al menos, a los 180°.

25 La presente invención hace referencia también a un dispositivo para determinar la excentricidad de un bloque hueco antes, durante o después de su paso por un tren de laminación, en donde el bloque hueco realiza un movimiento de traslación en el sentido de su eje longitudinal, y el dispositivo presenta, al menos, un dispositivo de medición para determinar el grosor de pared del bloque hueco en una posición longitudinal y periférica del bloque hueco, en donde  
30 el dispositivo de medición se encuentra conectado con un elemento de movimiento que desplaza el dispositivo de medición durante la medición en el sentido del eje longitudinal y/o en el sentido periférico del bloque hueco, caracterizado por un elemento ordenador para realizar una transformada de Fourier para lograr una determinación aproximada del desarrollo de la excentricidad del bloque hueco, programado para determinar para el desarrollo funcional del grosor de pared (5) como una función de la coordenada longitudinal (z) y del ángulo de rotación ( $\phi$ ), una aproximación de la forma

35 
$$s(\phi, z) \approx s_0^* + \sum s_{i,1} \cos(\phi + 2\pi/p_i z + \xi_{i,1})$$

en donde  $s_0^*$  y  $s_{i,1}$  son los coeficientes de Fourier determinados para el grosor de pared del bloque hueco en la suma (i) del número (n) de elementos en serie de Fourier, y  $p_i$  y  $\xi_{i,1}$  son los coeficientes de Fourier para las alturas de paso o bien, para el ángulo de posición inicial en la suma (i) del número (n) de elementos en serie de Fourier.

40 El dispositivo de medición se encuentra dispuesto preferentemente en la zona de la abertura de salida de un tren de laminación, particularmente de un tren de laminación de cilindros cruzados.

De manera ventajosa, el elemento de movimiento presenta una guía lineal que se extiende en el sentido del eje longitudinal del bloque hueco, y presenta una corredera que se puede desplazar sobre dicha guía.

El elemento de movimiento puede presentar también una guía que se extiende en el sentido periférico del bloque hueco, y puede presentar una corredera que se puede desplazar sobre dicha guía.

45 También se pueden utilizar más de un dispositivo de medición.

Para la determinación eficiente del grosor de la pared del bloque hueco, se ha comprobado que el dispositivo de medición presenta medios para la introducción de una señal de ultrasonido en la superficie del bloque hueco. El medio es preferentemente un láser, particularmente un láser Nd:YAG bombeado por lámparas de destello. Además,

pueden presentar medios para medir un intervalo de tiempo entre dos señales de eco de ultrasonidos, que emite el bloque hueco como consecuencia de la introducción de la señal de ultrasonido. En el caso de dichos medios se puede tratar de un láser, particularmente un láser Nd:YAG bombeado por diodos, y de un analizador óptico, particularmente un interferómetro de Fabry-Perót.

- 5 Mediante las medidas recomendadas desde el punto de vista de la técnica del proceso, o bien mediante el dispositivo mencionado, se puede proporcionar de una manera simple una representación del desarrollo espacial de la excentricidad a lo largo de la coordenada longitudinal del bloque hueco y, de esta manera, se puede obtener una información de la magnitud y de la posición de la excentricidad, apta para la práctica. Las aproximaciones que se utilizan permiten particularmente deducir de una manera muy simple los criterios de evaluación para la calidad del  
10 bloque hueco, que se pueden utilizar de manera práctica.

En los dibujos se representan ejemplos de ejecución de la presente invención. Muestran:

Fig. 1 esquemáticamente en una vista tridimensional, un bloque hueco con una excentricidad junto con un dispositivo de medición para su determinación;

Fig. 2 un acondicionamiento alternativo a la figura 1; y

- 15 Fig. 3 esquemáticamente el principio de la medición del grosor de pared de un bloque hueco.

En primer lugar se remite a la figura 3, en donde se observa el modo en que se puede realizar la medición del grosor de pared s de un bloque hueco 1.

- Se utiliza el método de medición del grosor de pared mediante ultrasonidos por láser, que se basa en el principio convencional de la medición del tiempo de propagación de un impulso de ultrasonido. A partir del tiempo para el recorrido (doble) de un impulso de ultrasonido a través de la pared del bloque hueco 1, ante la velocidad del sonido conocida c en el material del bloque hueco, se obtiene el grosor de pared buscada s. El acoplamiento del ultrasonido en la medición del grosor de pared caliente con temperaturas en el rango de alrededor de los 1.000 °C, requiere tanto métodos ópticos sin contacto del lado de la activación como del lado de la detección, en los cuales el propio cabezal de medición puede permanecer a una distancia segura en el sentido térmico, en relación con el bloque hueco 1.  
20  
25

- Los pulsos de luz altamente energéticos en el rango infrarrojo, son absorbidos por la superficie del bloque hueco 1. Dichos pulsos son generados por un láser Nd:YAG bombeado por lámparas de destello 9 (láser de excitación) orientado hacia la pared del bloque hueco, que puede presentar una longitud de onda de 1.064 nm con una duración de pulso menor a 10 ns. La energía aplicada por el láser 9 sobre la superficie del bloque hueco 1 (señal de ultrasonido 10) que es absorbida por la pared del bloque hueco, conduce en parte a la evaporación de una capa muy delgada de la superficie (ablación de material en el rango de nm). Mediante el impulso de evaporación se genera, debido a la conservación del impulso, un impulso de ultrasonido en el bloque hueco 1, que se extiende hacia su pared de manera perpendicular a la superficie del bloque hueco. El impulso de ultrasonido se refleja en la superficie interior del bloque hueco, retorna hacia la superficie exterior del bloque hueco, se refleja nuevamente, etc., de manera que en la pared del bloque hueco se genere una serie de ecos de ultrasonidos de la amplitud decreciente.  
30  
35

- El impulso de ultrasonido reflejado genera oscilaciones sobre la superficie exterior del bloque hueco 1 (en el rango de la subminiatura) que se detectan mediante un segundo láser 12 (láser de detección) sin contacto utilizando el efecto Doppler. Dicho láser 12 puede ser un láser CW (láser de onda continua), es decir, un láser Nd:YAG bombeado por diodos, duplicado en la frecuencia, que opera con una longitud de onda de 532 nm, y que se encuentra orientado hacia el punto de excitación. La oscilación de ultrasonido de baja frecuencia en comparación con la frecuencia de luz, conduce a una modulación de frecuencia de la luz reflejada en la superficie del material.  
40

- El cono de luz reflejado, que ahora es portador de la señal de ultrasonido, se suministra a través de una lente convergente de gran intensidad lumínica y a través de un conductor de fibra óptica, a un analizador óptico 13, es decir, a un demodulador, en donde se utiliza particularmente un interferómetro de Fabry-Perót confocal. Su señal de salida contiene la serie de ecos de ultrasonidos. Los medios 11 para determinar el intervalo de tiempo t están compuestos por el láser 12 y por el analizador óptico 13.  
45

- La amplificación posterior, el filtrado y la evaluación de la señal de la serie de ecos de ultrasonidos, se puede realizar con una unidad electrónica de evaluación de ultrasonidos convencional 14 (ordenador). La señal de salida de la unidad de evaluación 14 es el grosor de la pared s del bloque hueco 1, que se determina a partir del producto de la velocidad del sonido c y del intervalo de tiempo medido  $\Delta t$ , como se indica esquemáticamente en la figura 3.  
50

En la figura 1 se representa el modo en que se determina la excentricidad e del bloque hueco 1, a lo largo del recorrido de la coordenada longitudinal z del bloque hueco 1. El bloque hueco 1 sale de un tren de laminación de

cilindros cruzados, no representado, en donde dicho bloque hueco rota con una velocidad de rotación  $\omega$ . Dado que el bloque hueco 1 sale en el sentido del eje longitudinal L con una velocidad de salida  $v$  desde el tren de laminación de cilindros cruzados, un dispositivo de medición fijo 2 mide el grosor de pared  $s$  del bloque hueco a lo largo de una guía que se extiende en forma de espiral en el sentido de la coordenada longitudinal  $z$  del bloque hueco 1.

5 Debido al proceso de laminación en el tren de laminación de cilindros cruzados, como se indica en la figura 1, la excentricidad  $e$  en forma de espiral con la forma de un sacacorchos, se extiende en el sentido de la coordenada longitudinal  $z$  del bloque hueco 1. Se representan esquemáticamente tres cortes, mediante los cuales se observa que el grosor de pared  $s$  se repite periódicamente con el periodo de la altura de paso  $o$  bien, de la longitud de paso  $H$ .

10 Resulta problemático que la excentricidad principal en el bloque hueco 1, es decir, el espiral interior principal, presente un periodo, es decir, la longitud de paso  $o$  bien, la altura de paso  $H$ , que resulte igual al periodo del espiral de medición que se obtiene en el dispositivo de medición fijo 2.

Para poder deducir el desarrollo espacial de la excentricidad  $e$  a lo largo de la coordenada longitudinal  $z$  del bloque hueco 1, conforme a la presente invención se procede de la siguiente manera:

15 El dispositivo de medición 2 se encuentra dispuesto en un elemento de movimiento 3 que puede desplazar el dispositivo de medición 2 en relación con el tren de laminación de cilindros cruzados, no representado. De acuerdo con la figura 1, el elemento de movimiento 3 está compuesto por una guía lineal 4 y una corredera 5 que se puede desplazar sobre la guía lineal 4. El dispositivo de medición 2 se encuentra dispuesto sobre una corredera 5. Mediante un motor no representado, el dispositivo de medición 2 que puede determinar el grosor de pared  $s$  del  
20 bloque hueco, se puede desplazar en el sentido de la coordenada longitudinal  $z$  del bloque hueco 1, paralelo al sentido de expulsión del bloque hueco 1 desde el tren de laminación de cilindros cruzados.

Se prevé que el dispositivo de medición 2 se desplace con una repetición cíclica en relación con el tren de laminación de cilindros cruzados. En primer lugar, dicho dispositivo conduce con una velocidad  $v$  paralelo al bloque hueco 1, sobre la guía lineal 4 o bien, sobre la corredera 5, y mide un número de grosores de pared  $s$  que se  
25 almacenan en una memoria. En la figura 1 significa que el dispositivo de medición 2, en primer lugar, se encuentra en la última de las tres posiciones representadas, y después se desplaza en el sentido de la coordenada longitudinal  $z$  con la velocidad de salida  $v$ , "paralelo" a la salida del bloque hueco 1 desde el tren de laminación de cilindros cruzados. Además de la situación de salida (última posición) se observa una posición media entre ambas posiciones finales del dispositivo de medición 2, y después de ser alcanzada la posición delantera del dispositivo de medición 2,  
30 el dispositivo 2 se conduce nuevamente hacia la última posición, con lo cual le sigue una repetición del proceso de medición de la manera explicada.

De manera alternativa, como se representa en la figura 2, se puede prever que en lugar de un desplazamiento del dispositivo de medición 2 en el sentido de la coordenada longitudinal  $z$ , también rote en el sentido periférico del  
35 bloque hueco 1. Además, al mismo tiempo se encuentra dispuesto un elemento de movimiento 3 que presenta una guía 6, que se extiende de manera circular alrededor del bloque hueco 1 (sólo se representa por secciones). Sobre la guía 6 se extiende una corredera 7 que puede desplazar el dispositivo de medición 2 en el sentido periférico ( $\varphi$ ) alrededor del bloque hueco 1. En la figura 2 se representa una posición de partida (posición de 3 horas), una posición media (posición de 12 horas), y una posición final (posición de 9 horas).

40 Cuando se alcanza la posición final (posición de 9 horas), el dispositivo de medición 2 rota nuevamente hacia la posición de partida (posición de 3 horas).

Para la determinación de la excentricidad a lo largo del desarrollo de la coordenada longitudinal  $z$  del bloque hueco 1, se procede de la siguiente manera:

Los grosores de pared medidos  $s$  se almacenan, como se ha mencionado anteriormente, durante un ciclo de  
45 medición. Se almacenan en un elemento ordenador 8 (observar la figura 2) en el que los datos de medición se preparan mediante cálculos matemáticos. En este punto, los valores de medición se someten a un análisis de Fourier que representa el grosor de pared  $s$  a lo largo de la coordenada longitudinal  $z$ , y en el ángulo de rotación  $\varphi$  (ángulo periférico del bloque hueco 1) como la suma de oscilaciones armónicas individuales, con diferentes amplitudes y diferentes ángulos de posición inicial, es decir, la fórmula anteriormente indicada. De manera esquemática se almacena en el elemento ordenador 8 de la figura 2 la "transformada rápida de Fourier" FFT, que  
50 indica un procedimiento matemático preferido que se basa en la transformada de Fourier. Los detalles de este aspecto se encuentran, por ejemplo, en "Industria metalúrgica – Los fundamentos de la ingeniería", edición 29, pág. B 34 y pág. siguientes. En el elemento ordenador 8 se consideran los desplazamientos de frecuencia debidos al movimiento relativo adicional del cabezal de medición.

5 En la aproximación anteriormente mencionada, el grosor de pared  $s$  se describe en la "excentricidad ideal" mediante la amplitud excéntrica  $s_1(z)$  que depende de la coordenada longitudinal  $z$  del bloque hueco 1. La distribución periférica correspondiente se representa mediante la función de coseno, y el carácter periférico incluyendo la velocidad de rotación se formula de manera suficiente con el ángulo excéntrico actual  $\delta(z)$ . Como aproximación matemática se prepara el desarrollo del grosor de la pared con un valor de pared medio completo con "oscilaciones debidas a choques" superpuestas. Para un ángulo fijo  $\varphi$  se obtiene una serie de Fourier convencional en "z". Además, los ángulos de posición inicial  $\xi_{i,1}$  de las oscilaciones longitudinales dependen de la posición del bloque hueco durante la medición (ángulo inicial). En el caso que en cada coordenada longitudinal de la aproximación se varíe en correspondencia con el ángulo  $\varphi$ , de esta manera se describe el desarrollo completo de la excentricidad en el bloque hueco 1.

10 Por consiguiente, se puede resumir de la siguiente manera: Para representar la excentricidad principal, es decir, aquella que está definida por el espiral interior principal en un bloque hueco, el dispositivo de medición durante la medición se desplaza de un lado a otro en el sentido longitudinal, o rota alrededor del bloque hueco, es decir, en ambos casos con las amplitudes de movimiento que garantizan que con el dispositivo de medición se explore en su totalidad la altura de paso del espiral interior principal.

15 Si se somete a un análisis de Fourier a una proposición para el grosor de pared medida, en la que la amplitud de desplazamiento se ha seleccionado en el sentido longitudinal, por ejemplo, igual a la mitad de la altura de paso, de esta manera se obtiene la amplitud del espiral de conformación principal en la frecuencia de desplazamiento del dispositivo de medición. En el caso de un ciclo de desplazamiento completo, se explora en este caso la altura de paso completa.

20 En vista del análisis de datos o bien, de la frecuencia, dicha circunstancia se puede representar de la siguiente manera: Dado que el grosor de pared se explora (escanea) directamente en la salida del tren de laminación de cilindros cruzados con la misma velocidad de rotación o bien, con el mismo avance, se obtiene un desplazamiento de frecuencia igual a cero en relación con la frecuencia de oscilación excéntrica de la laminación en el bloque hueco. Durante la medición la rotación actúa en el rango de frecuencia como un desplazamiento. Lo mismo se considera para el movimiento de desplazamiento cíclico del dispositivo de medición.

25 En el caso que se mida un bloque hueco fabricado en una prensa, explorando en forma de espiral el grosor de pared, de esta manera se obtendría su excentricidad que es casi "estable" y que no presenta un carácter circunferencial (frecuencia igual a cero y altura de paso infinita), exactamente en la frecuencia de rotación de exploración.

30 El análisis de Fourier de los datos de medición explorados en forma de espiral, suministra a continuación como resultado la diferencia entre ambas frecuencias, es decir, la frecuencia relativa entre el "espiral de laminación" y el "espiral de exploración". En la salida del tren de laminación de cilindros cruzados, dicho resultado es igual a cero. Además, la frecuencia cero representa en el rango de frecuencia el valor medio, que se altera naturalmente mediante el espiral interior en relación con la posición inicial relativa (ángulo de fase inicial) del espiral interior principal. Si se mide, por ejemplo, exactamente en el "punto mínimo" del espiral excéntrico, de esta manera el valor medio se altera hacia un valor inferior, por el contrario, si se mide casi "en la cima", de esta manera la alteración se realiza hacia un valor superior.

35 La posición inicial varía aleatoriamente entre bloque hueco y boque hueco, debido a las diferentes condiciones y puntos de entrada.

40 El movimiento de medición adicional conforme a la presente invención, se ocupa en este punto de que la frecuencia relativa sea diferente a cero y, de esta manera, se transforma nuevamente en un rango visible, con lo cual se anula simultáneamente la alteración del valor medio mediante el espiral de conformación.

45 Para la evaluación descrita de los valores medidos para el grosor de la pared, se recurre finalmente a los métodos conocidos de interpretación o bien, de evaluación, como se utilizan en la técnica de las comunicaciones, como por ejemplo, los de desplazamiento de frecuencia y modulación.

Además, se debe mencionar que la medición del grosor de pared mediante el método de medición por ultrasonidos explicado, también se puede realizar de manera exitosa con una barra de mandril dispuesta en el bloque hueco.

50 Se ha mencionado previamente que se puede utilizar más de un dispositivo de medición de grosor de pared. Por lo tanto, el sistema no sólo se realiza con un único canal, sino también con una pluralidad de canales. Se pueden disponer una pluralidad de dispositivos de medición del grosor de pared, de manera equidistante a lo largo de la periferia del bloque hueco.

5 Para una representación lo suficientemente precisa de la excentricidad que se extiende de manera espacial, como función de la coordenada longitudinal  $z$  y del ángulo de rotación  $\varphi$  también resulta importante mantener una frecuencia de exploración lo suficientemente elevada. En este caso, se trata de mantener frecuencias de exploración mínimas de acuerdo con el teorema de exploración de Shannon. Los detalles de este aspecto se encuentran en "Industria metalúrgica – Los fundamentos de la ingeniería", edición 29, pág. H 68 y pág. siguientes. De esta manera, se puede determinar también, por ejemplo, con un índice de exploración de 50 Hz, la frecuencia de choque de un espiral de avance en el bloque hueco con 40 mm de altura de paso, cuando un bloque hueco pasa frente a un cabezal de medición con menos de 1 m/s sin rotación.

10 Además, se ha comprobado lo siguiente: En las ejecuciones anteriormente mencionadas, se ha previsto especialmente que el "espiral" a medir en el bloque hueco se conforme como un desarrollo helicoidal de la superficie interior del bloque hueco.

De la misma manera, también se pueden utilizar el método descrito y el dispositivo correspondiente, cuando el "espiral" se encuentra sobre la superficie exterior del bloque hueco.

Lista de símbolos de referencia:

- 15 1 Bloque hueco
- 2 Dispositivo de medición
- 3 Elemento de movimiento
- 4 Guía lineal
- 5 Corredera
- 20 6 Guía
- 7 Corredera
- 8 Elemento ordenador
- 9 Medio para la introducción de la señal de ultrasonido (láser de excitación)
- 10 Señal de ultrasonido
- 25 11 Medio para medir el intervalo de tiempo
- 12 Láser
- 13 Analizador óptico (interferómetro de Fabry-Perót)
- 14 Ordenador
- e Excentricidad
- 30 L Eje longitudinal
- s Grosor de pared
- H Altura de paso (longitud de paso)
- v Velocidad de salida
- o Velocidad de rotación
- 35 z Coordenada longitudinal del bloque hueco
- $\varphi$  Ángulo de rotación (sentido periférico del bloque hueco)



$S_0$  Grosor de pared medio del bloque hueco

$S_1$  Amplitud del grosor de pared combinada

$\delta$  Ángulo de posición

$n$  Número de elementos en serie de Fourier

5  $S_0^*$  Coeficiente de Fourier para el grosor de pared

$S_{i,1}$  Coeficiente de Fourier para el grosor de pared ( $i = 1, \dots, n$ )

$p_i$  Coeficiente de Fourier para la altura de paso ( $i = 1, \dots, n$ )

$\xi_{i,1}$  Coeficiente de Fourier para el ángulo de posición inicial ( $i = 1, \dots, n$ )

$\Delta t$  Intervalo de tiempo

10  $c$  Velocidad del sonido

FFT Transformada rápida de Fourier

REIVINDICACIONES

1. Método para determinar la excentricidad (e) de un bloque hueco (1) antes, durante o después de su paso por un tren de laminación, en donde el bloque hueco (1) realiza un movimiento de traslación en el sentido de su eje longitudinal (L), mediante, al menos, un dispositivo de medición (2) que detecta el grosor de la pared (s) del bloque hueco (1) en una posición longitudinal y periférica del bloque hueco (1), en donde el dispositivo de medición (2) se desplaza durante la medición en el sentido del eje longitudinal (L) y/o en el sentido periférico del bloque hueco (1), y en donde durante dicho desplazamiento se realiza un número de mediciones del grosor de la pared, **caracterizado porque** el desarrollo de la excentricidad (e) del bloque hueco (1) se representa aproximadamente como el desarrollo del grosor de la pared (s) como una función de la coordenada longitudinal (z) que se extiende en el sentido del eje longitudinal (L) del bloque hueco (1), y del ángulo de rotación ( $\phi$ ) alrededor de la coordenada longitudinal (z) de acuerdo con la relación

$$s(\phi, z) = s_0(z) + s_1(z) \cos(\phi + \delta(z)),$$

en donde  $s_0$  es el grosor de pared medio del bloque hueco (1),  $s_1$  es la amplitud del grosor de pared combinada con el grosor de pared medio  $s_0$ , y  $\delta$  es el ángulo de posición que depende de la coordenada longitudinal (z), en donde el dispositivo de medición (2) suministra los grosores de pared medidos durante el paso del bloque hueco (1), a un elemento ordenador (8) que somete dichos grosores a una transformada de Fourier con el fin de determinar para el desarrollo funcional del grosor de pared (s) como una función de la coordenada longitudinal (z) y del ángulo de rotación ( $\phi$ ), una aproximación de la forma

$$s(\phi, z) \approx s_0^* + \sum s_{i,1} \cos(\phi + 2\pi/p_i z + \xi_{i,1})$$

en donde  $s_0^*$  y  $s_{i,1}$  son los coeficientes de Fourier determinados para el grosor de pared del bloque hueco (1) en la suma (i) del número (n) de elementos en serie de Fourier, y  $p_i$  y  $\xi_{i,1}$  son los coeficientes de Fourier para las alturas de paso o bien, para el ángulo de posición inicial en la suma (i) del número (n) de elementos en serie de Fourier.

2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** se determina la excentricidad (e) del bloque hueco (1) en la zona de la abertura de salida de un tren de laminación, particularmente de un tren de laminación de cilindros cruzados.

3. Método de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado porque** el bloque hueco (1) rota alrededor de su eje longitudinal (L) antes, durante o después de su paso por el tren de laminación, particularmente durante su salida del tren de laminación.

4. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** el desplazamiento del dispositivo de medición (2) se realiza de manera que se repita cíclicamente.

5. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** el dispositivo de medición (2) se desplaza durante la medición en el sentido del eje longitudinal (L) con la velocidad (v) del bloque hueco (1), particularmente con la velocidad de salida del bloque hueco (1) desde el tren de laminación.

6. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** durante un desplazamiento exclusivo del dispositivo de medición (2) en el sentido del eje longitudinal (L), dicho dispositivo realiza un movimiento de elevación que corresponde, al menos, a media altura de paso (H), preferentemente, al menos, a una altura de paso completa (H) de la excentricidad (e) en el bloque hueco (1).

7. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** durante el desplazamiento exclusivo del dispositivo de medición (2) en el sentido periférico del bloque hueco (1), dicho dispositivo realiza un movimiento pivotante que asciende, al menos, a los 180°.

8. Dispositivo para determinar la excentricidad (e) de un bloque hueco (1) antes, durante o después de su paso por un tren de laminación, particularmente para ejecutar el método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7, en donde el bloque hueco (1) realiza un movimiento de traslación en el sentido de su eje longitudinal (L), y el dispositivo presenta, al menos, un dispositivo de medición (2) para determinar el grosor de pared (s) del bloque hueco (1) en una posición longitudinal y periférica del bloque hueco (1), en donde el dispositivo de medición (2) se encuentra conectado con un elemento de movimiento (3) que desplaza el dispositivo de medición (2) durante la medición en el sentido del eje longitudinal (L) y/o en el sentido periférico del bloque hueco (1), **caracterizado por** un elemento ordenador (8) para realizar una transformada de Fourier para lograr una determinación aproximada del desarrollo de

la excentricidad (e) del bloque hueco, programado para determinar para el desarrollo funcional del grosor de pared (s) como una función de la coordenada longitudinal (z) y del ángulo de rotación ( $\phi$ ), una aproximación de la forma

$$s(\phi, z) \approx s_0^* + \sum s_{i,1} \cos(\phi + 2\pi/p_i z + \xi_{i,1})$$

5 en donde  $s_0^*$  y  $s_{i,1}$  son los coeficientes de Fourier determinados para el grosor de pared del bloque hueco (1) en la suma (i) del número (n) de elementos en serie de Fourier, y  $p_i$  y  $\xi_{i,1}$  son los coeficientes de Fourier para las alturas de paso o bien, para el ángulo de posición inicial en la suma (i) del número (n) de elementos en serie de Fourier.

9. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 8, **caracterizado porque** el dispositivo de medición (2) se encuentra dispuesto en la zona de la abertura de salida de un tren de laminación, particularmente de un tren de laminación de cilindros cruzados.

10 **10.** Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 8 ó 9, **caracterizado porque** el elemento de movimiento (3) presenta una guía lineal (4) que se extiende en el sentido del eje longitudinal (L) del bloque hueco (1), y presenta una corredera (5) que se puede desplazar sobre dicha guía.

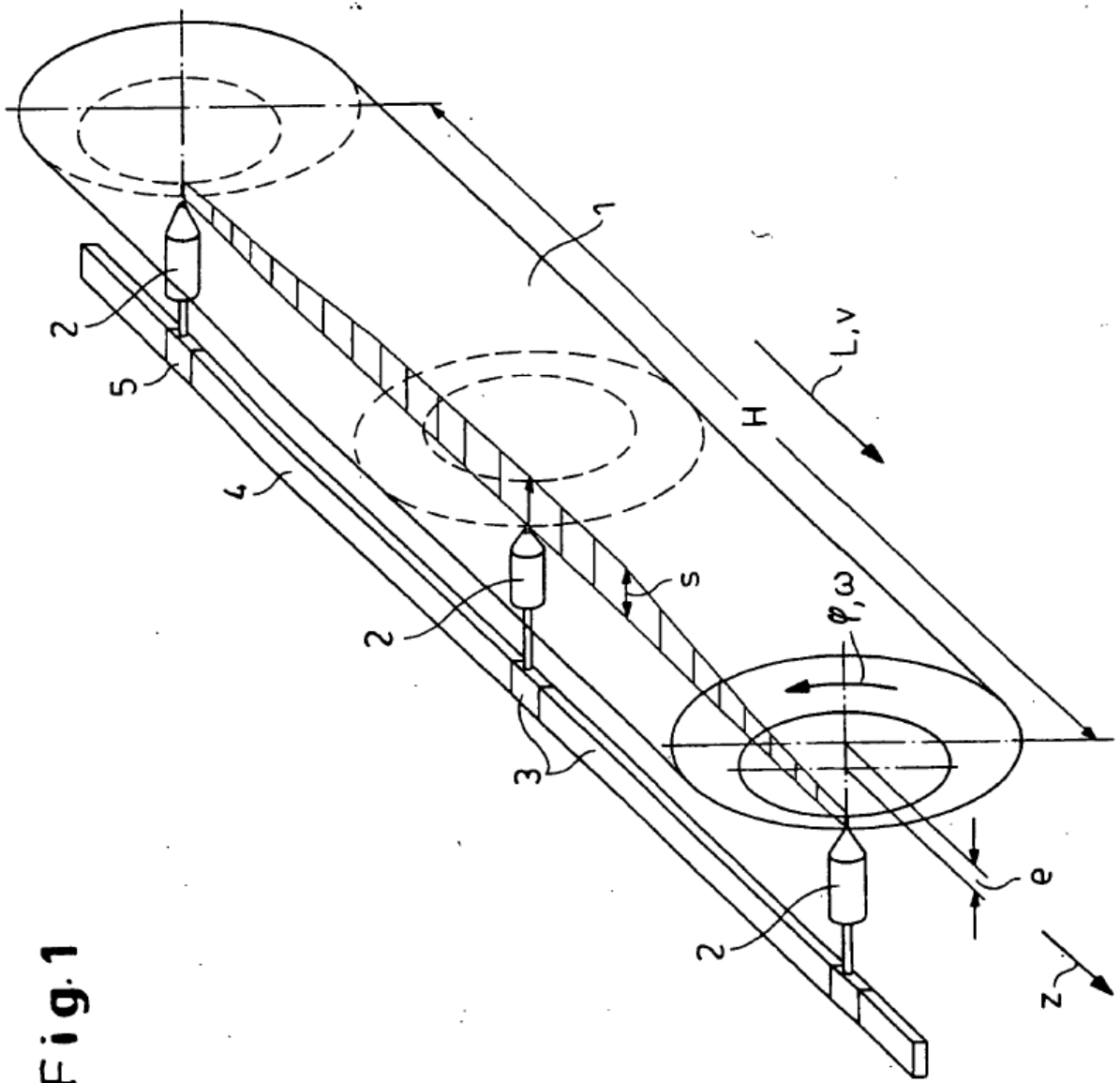
15 **11.** Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 8 ó 9, **caracterizado porque** el elemento de movimiento (3) presenta una guía (6) que se extiende en el sentido periférico del bloque hueco (1), y presenta una corredera (7) que se puede desplazar sobre dicha guía.

**12.** Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 8 a 11, **caracterizado porque** el, al menos un, dispositivo de medición (2) presenta medios (9) para la introducción de una señal de ultrasonido (10) en la superficie del bloque hueco (1).

20 **13.** Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 12, **caracterizado porque** el medio (9) es un láser, particularmente un láser Nd:YAG bombeado por lámparas de destello.

**14.** Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 8 a 13, **caracterizado porque** el, al menos un, dispositivo de medición (2) presenta medios (11) para medir un intervalo de tiempo ( $\Delta t$ ) entre dos señales de eco de ultrasonidos, que emite el bloque hueco (1) como consecuencia de la introducción de la señal de ultrasonido (10).

25 **15.** Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 14, **caracterizado porque** el medio (11) presenta un láser (12), particularmente un láser Nd:YAG bombeado por diodos, y un analizador óptico (13), particularmente un interferómetro de Fabry-Perót.



**Fig.1**

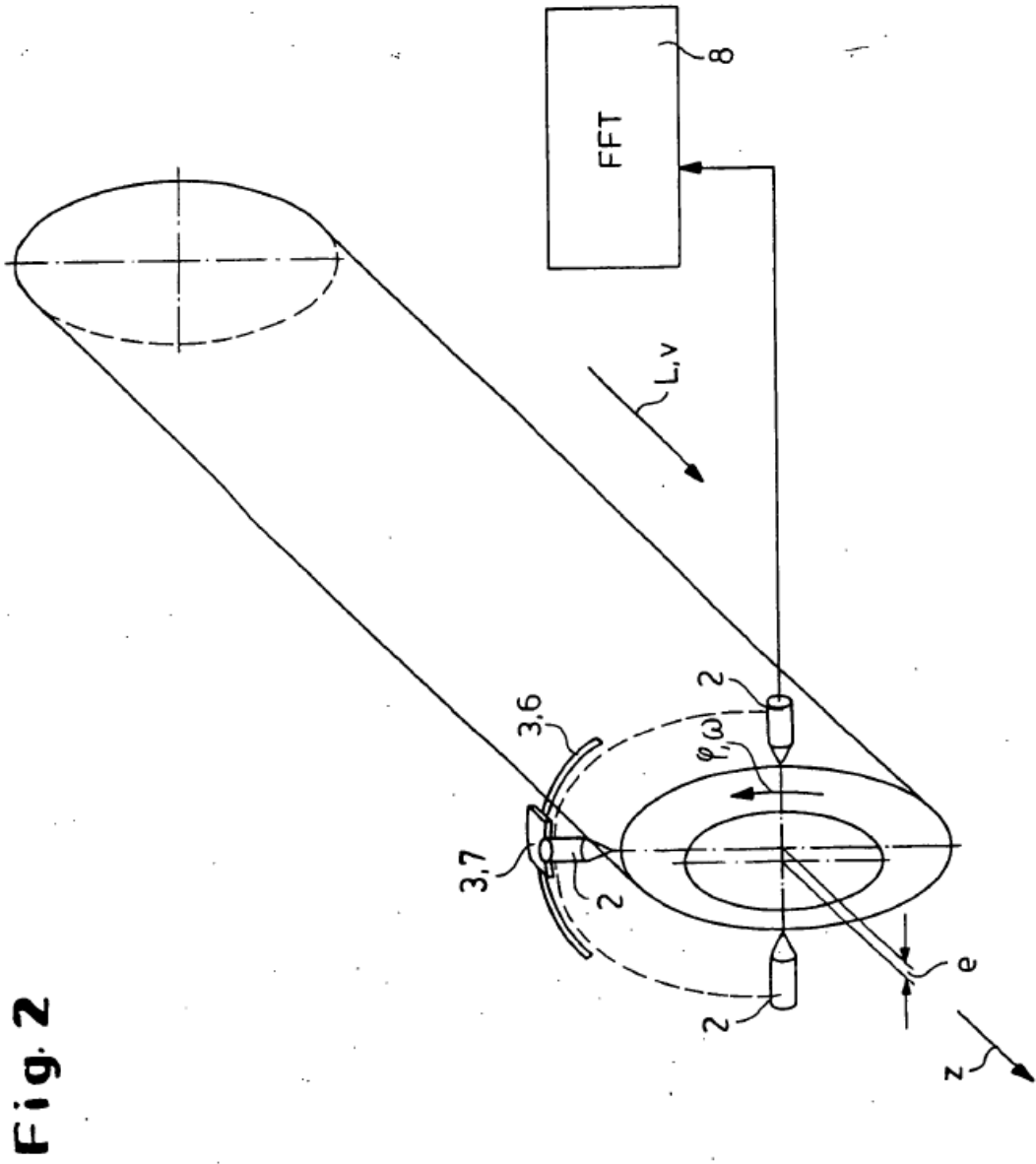
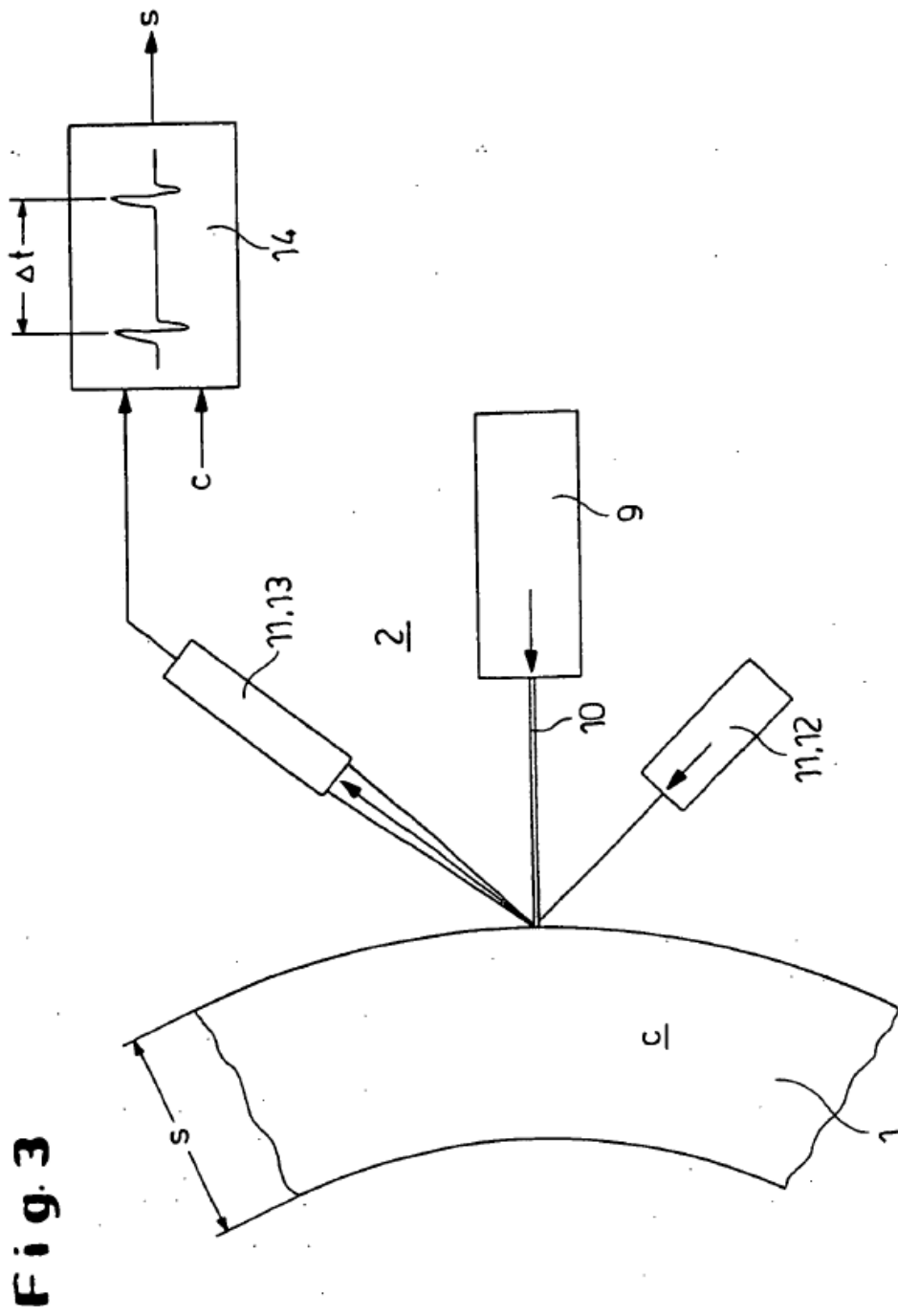


Fig. 2



**Fig. 3**