



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 301 467**

51 Int. Cl.:
G01B 17/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **00123614 .0**

86 Fecha de presentación : **28.10.2000**

87 Número de publicación de la solicitud: **1102033**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **23.05.2001**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para la medición sin contacto del espesor de paredes de tubos calientes online.**

30 Prioridad: **17.11.1999 DE 199 55 136**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.07.2008

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.07.2008

73 Titular/es: **SMS Demag AG.**
Eduard-Schloemann-Strasse 4
40237 Düsseldorf, DE

72 Inventor/es: **Sauerland, Martin**

74 Agente: **Carvajal y Urquijo, Isabel**

ES 2 301 467 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

Procedimiento y dispositivo para la medición sin contacto del espesor de paredes de tubos calientes online.

5 La presente invención comprende un procedimiento y un dispositivo para la medición online sin contacto de espesores de paredes calientes, para la detección de estructuras indeseadas en paredes internas, como polígonos internos o semejantes, en tubos laminados en caliente, especialmente, tubos reducidos.

10 En la fabricación de tubos de acero sin costura y soldados, frecuentemente se aplica la denominada reducción, para obtener, de manera flexible y con pocas mediciones del producto previo, numerosas dimensiones de tubos acabados de diferente diámetro y espesor de pared. La ventaja de este procedimiento, que se puede llevar a cabo sin herramientas internas, es la variación rápida y económica del espesor de pared y del diámetro.

15 La transformación del tubo previo se lleva a cabo en numerosas cajas de laminación dispuestas una tras otra, asimismo, por la variación del número de giros en las cajas individuales se genera un paso definido entre las cajas, y, de ese modo, se regula de modo adecuado el espesor de pared del tubo acabado. Hoy la transformación en el tren reductor-desbastador se lleva a cabo, en general, en cajas de laminación de tres o cuatro cilindros, cuyo calibre no es circular sino de forma ovalada de tres o cuatro lados. Esta forma del calibre en principio es inevitable, sólo la última caja de una hilera de cajas utilizada se ejecuta, en general, de modo circular, dado que el tubo laminado terminado debe ser lo más circular posible.

20 A través de la calibración ovalada, frecuentemente se obtienen marcadas irregularidades en el espesor de pared en el corte transversal del tubo reducido. Las irregularidades en el espesor de pared tienen diferentes formas. En el caso de la caja de tres cilindros, por ejemplo, tienen una forma hexagonal y se denominan polígonos internos. En el caso de las cajas con cuatro cilindros la forma es octogonal. Como en todas las desviaciones en el espesor de pared, la formación de polígonos internos significa también una pérdida en la calidad.

25 Dado que la formación de polígonos internos depende, entre otros del espesor de pared, o mejor dicho, de la relación del espesor de pared respecto del diámetro del tubo, para la generación de un área de espesor de pared grande se requieren, en realidad, diferentes calibraciones de los cilindros, es decir, diferentes ovalidades en la calibración de los cilindros. Pero dado que la puesta a disposición de caja de laminación significa un esfuerzo notable, en general sólo se implementan dos diferentes calibraciones, una redonda con reducida ovalidad de la abertura del calibre para tubos de pared gruesa y una con gran ovalidad de la abertura del calibre para tubos de pared delgada. Por lo demás se intenta mantener reducida la formación de hexágonos interiores, regulando de modo óptimo la tracción central o el paso en el material por laminar durante la transformación; porque se comprobó, mediante pruebas, que la medida del polígono se modifica dependiendo del paso. Tras llevar a cabo con mucho esfuerzo esta optimización del paso, no siempre se logran tubos con pocos polígonos internos, dado que surgen modificaciones actuales inevitables de los parámetros de influencia, es decir, se tuvo que aceptar una formación de polígonos internos como consecuencia de condiciones de transformación que se modifican en tiempo real y se ha debido realizar un gran esfuerzo para llevar a 30 40 cabo una optimización en el campo preliminar de la producción.

Los tubos de acero sin costura se fabrican generalmente en los tres pasos de transformación: perforado en un trenlaminador de cilindros cruzados, laminación en un tren laminador tipo "Assel" o de "Konti" u otro y laminación 45 acabadora en un tren reductor-desbastador. Los tres pasos de transformación producen desviaciones indeseadas características de la medida nominal en la pared del tubo, superponiéndose en cada paso de transformación siguiente y se hallan nuevamente, en esta forma superpuesta, en la pared del tubo reducido. Por ejemplo, en el tren laminador de cilindros cruzados de dos cilindros, se originan dos engrosamientos de pared que rodean en espiral al tubo, y se manifiestan en el corte transversal del tubo como una excentricidad circular. Si el segundo paso de transformación consiste en un tren laminador tipo Assel, también pueden surgir engrosamientos en espiral que discurren alrededor 50 del tubo, que o bien pueden avanzar en el mismo sentido, pero con diferente inclinación, o bien en sentido de giro contrario atravesando las espirales del tren laminador de cilindros cruzados.

En cambio, en el caso de tubos reducidos desbastados en un tren de Konti, puede surgir, adicionalmente al polígono interno del tren reductor-desbastador y al excéntrico circular del cilindro cruzado, una formación cuadrada. La 55 formación cuadrada se puede comprobar en la salida del tren reductor-desbastador en su posición de fase, de modo que se da una condición para actuar contra estas fallas internas.

El problema de la aparición de estructuras de pared indeseadas en tubos podría resolverse si se lograra llevar a cabo una corrección de la formación de fallas durante el proceso de producción mediante un bucle de control, por 60 ejemplo, variando los parámetros de paso (modificación de la serie de números de giros). Dado que, como es sabido, entre el parámetro de la división de pasos y la formación de polígonos internos existe una relación unívoca, se podría reducir automáticamente la formación de polígonos internos sin influir en el espesor de pared del tubo previo. Pero esto presupone que se conoce el recorrido de la formación de polígonos internos y de sus errores superpuestos, por ejemplo, mediante medición sin contacto del espesor de pared de los tubos calientes por el laminado, inmediatamente tras el 65 laminado, cuando éstos salen del tren de laminado con un centro del tubo constante. Esto presupone un procedimiento de medición y una instalación de dispositivos de medición económicos, que, además de la medición del recorrido del espesor de pared a lo largo de la longitud del tubo, o del tiempo de paso, brinda información importante sobre la formación de polígonos internos durante la reducción.

ES 2 301 467 T3

La memoria EP 0444 800A2 presenta un sistema de medición en el cual los cabezales de medición recorren el tubo por medir a una velocidad de revoluciones elevada. Aquí se aplican los sistemas de medición por ultrasonido para la determinación del espesor del tubo con una construcción relativamente pequeña y que permite un recorrido rápido alrededor del tubo.

5

Partiendo de los problemas del estado de la técnica descritos anteriormente, el objetivo de la presente invención consiste en lograr un procedimiento y un dispositivo para la medición online sin contacto de espesores paredes calientes con los que se pueden detectar estructuras de pared indeseadas como polígonos internos, excéntricos o cuadrados, con mínimos esfuerzos de la técnica de medición, para poder tomar medidas para la mejora de calidad con la debida antelación.

10

Para alcanzar el objetivo se propone, acorde a la invención, que mediante el procedimiento láser por ultrasonido y la aplicación de al menos un cabezal de medición, durante o inmediatamente después del proceso de laminado se realice el escaneo en dirección de la circunferencia y desde cada cabezal de medición, un segmento de la pared del tubo por medir, y eventualmente, a través de análisis matemáticos y observaciones de la simetría del recorrido de la pared del corte transversal del tubo, se lo reconstruya en un ordenador, asimismo, utilizando varios cabezales de medición desplazados alrededor del tubo en dirección de la circunferencia, cada cabezal de medición barre otro segmento asignado de la pared del tubo.

15

20

Con el procedimiento de medición del espesor de pared láser por ultrasonido se aplica el principio clásico de la medición del tiempo de paso por ultrasonido. A partir del tiempo del recorrido (doble) de un impulso de ultrasonido por la pared del tubo, se obtiene, en caso de una velocidad del sonido conocida, el espesor de pared buscado. Dado que el acople del ultrasonido en la medición de espesores de paredes calientes a temperaturas en el rango de los 1000°C, se debe llevar acabo sin contacto tanto del lado de la excitación como de lado de la detección, se utilizan para ello métodos ópticos, en los que el cabezal mismo puede permanecer a una distancia térmicamente segura del material por medir. Los impulsos de luz de alta energía, en el área de los infrarrojos generados por un láser orientado al material por medir y bombeado por lámparas de destellos, se absorben en la superficie del tubo, lo cual provoca parcialmente la evaporación de una capa superficial extremadamente delgada. A causa del impulso de la evaporación, se produce, a causa de la obtención del impulso en el tubo, un impulso ultrasónico que ingresa en la pared del tubo, perpendicular a la superficie del tubo. El impulso ultrasónico obtenido de este modo es reflejado en la superficie interior del tubo, retorna a la superficie exterior, es reflejado nuevamente, etc., de modo que en el material por medir se origina un ciclo de ecos ultrasónicos de amplitud decreciente. El impulso ultrasónico reflejado genera oscilaciones en el área subminiatura sobre la superficie exterior del tubo que, a su vez, son registradas sin contacto mediante un segundo láser en funcionamiento de luz continua, aprovechando el efecto doppler. La oscilación ultrasónica, de frecuencia baja en comparación con la frecuencia de luz, conduce a una modulación de frecuencia de la luz reflejada en la superficie del material.

25

30

35

El procedimiento de medición láser del espesor de pared por ultrasonido se conoce como tal. Se hace referencia a la memoria WO 99/44051 y al aporte "Wall Thickness Measurement of Tubes and Eccentricity Determination by Laser-Ultrasonics" (Medición del espesor de pared de tubos y determinación del excéntrico) de J.-P. Monchalins *et al.*, en 39th Mechanical Working and Steel Processing Conference Proceedings (Actas de la 39ª Conferencia sobre trabajo mecánico y procesamiento de acero), Vol. XXXV (1998), pág. 927-931, XP000912211.

40

A través de una lente convergente luminosa, el conoluminoso reflectante que ahora es el "portador" de la señal ultrasónica es suministrado al demodulador óptico, un interferómetro de Fabry-Pérot confocal cuya señal de salida ya contiene al ciclo de ecos ultrasónicos. La amplificación, el filtrado y la evaluación posteriores de la señal del ciclo de ecos ultrasónicos se lleva a cabo con una electrónica de evaluación de ultrasonido que trabaja de modo "convencional", cuya señal de salida son los valores del espesor de pared que posteriormente son procesados en el ordenador correspondiente del sistema.

45

50

Mediante el escaneo acorde a la presente invención, de un segmento de la pared del tubo se pueden registrar en el corte transversal del tubo las estructuras indeseadas que reducen la calidad, con un esfuerzo de tecnología de medición mínimo. Por ejemplo, implementando abrazaderas soldadas en las líneas del tren reductor-desbastador, ya se puede medir, y de ese modo reconocer, el polígono (hexagonal u octogonal) interno fijo en la posición de fase con la medición láser puntual de espesor de pared por ultrasonido, con un canal, es decir, con un solo cabezal de medición. Las medidas para la mejora de la calidad a través del operador del tren de laminación pueden realizarse lo más pronto posible.

55

En un acondicionamiento de la invención se propone que, en el caso de un máximo de cuatro cabezales de medición distribuidos en el perímetro del tubo, al menos uno de los cabezales de medición sea desplazado en dirección de la circunferencia del tubo, a lo largo de un segmento angular por determinar, dependiendo de la disposición esperada de la estructura interna indeseada. En el caso de estructuras circulares superpuestas (por ejemplo, en el caso de reducciones de abrazaderas Assel) y aprovechando las propiedades de simetría, con sólo tres cabezales de medición que realizan el escaneo (3 puntos determinan un círculo), de los cuales al menos uno es desplazable en la dirección de la circunferencia del perímetro, ya se puede obtener la misma información sobre las estructuras del tubo que, de lo contrario sólo puede ganarse con 7 o más cabezales de medición. En el caso de cabezales de medición desplazables o la combinación de cabezales de medición fijos y desplazables que efectúan el escaneo, los cortes transversales del tubo se reconstruyen a través de análisis matemáticos (por ejemplo, el análisis de Fourier), a través de superposición y observaciones de la simetría.

60

65

ES 2 301 467 T3

Acorde a otra característica de la invención, los ciclos de desplazamiento de los cabezales de medición se llevan a cabo preferentemente dependiendo de la velocidad de laminado. De ese modo son suficientes, por ejemplo, en tiempos de laminado en el orden de los 30 segundos, los ciclos de desplazamiento relativamente largos con periodos de ≈ 10 segundos, para hacer visibles la formación del polígono.

Para posibilitar la detección de desviaciones del corte transversal de los tubos el o los cabezales de medición están unidos a una electrónica de evaluación, que está dispuesta preferentemente protegida a cierta distancia del dispositivo de medición en una caja de distribución eléctrica o en una cabina de medición. Al dispositivo de medición pertenece un ordenador del operador, dispuesto cerca del tren reductor-desbastador.

En la electrónica de evaluación que trabaja de modo “convencional” se llevan a cabo la amplificación, el filtrado y la evaluación de la señal del ciclo de ecos ultrasónicos, cuya señal de salida son los valores del espesor de pared que posteriormente son procesados en el ordenador correspondiente del sistema.

Ventajosamente, para medir tubos reducidos cuyos tubos previos han sido realizados en un proceso de laminado transversal, alrededor del perímetro del tubo se disponen de modo regular 3 cabezales de medición que en conjunto pueden desplazarse en un ángulo de aproximadamente 70° . Ya que, como fue descrito al comienzo, en estos tubos, tras el tren reductor-desbastador se presenta generalmente, junto a la formación del hexágono o del polígono, un excéntrico generalmente circular que en el caso de los tres cabezales de medición dispuestos en un ángulo de 120° y desplazados en conjunto, influye sobre los tres cabezales de medición de tal modo que en cada posición angular el excéntrico interno se puede determinar independiente del polígono superpuesto.

De modo alternativo, acorde a otra característica de la invención, para medir tubos reducidos cuyos tubos previos han sido realizados en un proceso de laminado transversal, alrededor del perímetro del tubo se pueden disponer de modo regular 4 cabezales de medición L1 a L4, de los cuales al menos un cabezal de medición puede desplazarse un ángulo de aproximadamente 70° , asimismo, el último determina el recorrido de la pared excéntrica.

Finalmente, el procedimiento de medición acorde a la invención también puede ser aplicado para medir tubos reducidos cuyos tubos previos han sido realizados en un proceso de laminado transversal, en ese caso, acorde a la invención, alrededor del perímetro del tubo están dispuestos 3 o 4 cabezales de medición, de los cuales al menos un cabezal de medición puede desplazarse un ángulo de aproximadamente 90° . En el caso del laminado de Konti, una formación cuadrada se superpone con el hexágono del tren reductor-desbastador y el excéntrico circular del laminador de cilindros cruzados, asimismo, la posición de fase del cuadrilátero nuevamente también se puede reconocer en la salida del tren reductor-desbastador. Con un máximo de 4 cabezales de medición, de los que al menos uno es desplazable, se pueden registrar y finalmente corregir todas las irregularidades de las paredes que se presentan allí.

El procedimiento de medición acorde a la invención y el sistema de medición también se pueden aplicar en el caso de instalaciones de banco de tracción, asimismo la cantidad de canales y de ángulos de medición de los cabezales de medición se deben adaptar dependiendo de las estructuras reales.

La ventaja de la presente invención se observa en que, utilizando una cantidad comparativamente reducida de cabezales de medición, y aprovechando conocimientos previos sobre el proceso de laminado, al aplicar cabezales de medición al menos desplazables individualmente que trabajan acorde al procedimiento láser por ultrasonido, de los cuales los cabezales de medición desplazables sólo registran una parte (un segmento) de la pared del tubo, se pueden registrar y aprovechar más características sobre la calidad que en el caso de los dispositivos de múltiples canales. Esto lleva, finalmente, a una reducción de costos considerable y a un procedimiento económico.

A continuación se describe la invención a partir de diferentes figuras esquemáticas de los dibujos. Se muestra:

Figura 1 un dispositivo acorde a la invención con un solo cabezal de medición,

Figura 2 muestra el corte transversal de un tubo con un polígono interno hexagonal,

Figura 3 un dispositivo acorde a la invención con tres cabezales de medición,

Figura 4 explicita el principio de la invención en una representación esquemática y

Figura 5 muestra de modo esquemático la mecánica de reglaje de los cabezales de medición, con posibilidades de ajuste para el radio y la adaptación de la altura al centro del cilindro.

La figura 1 muestra un dispositivo con sólo un cabezal de medición L, que se desplaza en el ángulo φ alrededor del eje X en el centro del tubo 3 hasta la posición L'. El polígono hexagonal se caracteriza por la pared más delgada S_{\min} y la pared más gruesa S_{\max} . La forma del polígono es regular porque el centro del círculo exterior y el centro del polígono se encuentran en la intersección X de ambas líneas medias. En la figura 1 está representado un polígono hexagonal y un ángulo de desplazamiento φ del escáner L de 70° . En el caso de un polígono hexagonal, para poder reconstruir un corte transversal completo de un tubo sería suficiente un ángulo de desplazamiento de 30° , como lo

ES 2 301 467 T3

muestra la figura 5, y, a saber, de S_{\min} a S_{\max} . Por ello, el ángulo de 70° ofrece una doble seguridad, porque abarca dos secciones simétricas opuestas del tubo, generando una posibilidad de comparación, y haciendo más simple un control de plausibilidad de los resultados de medición.

5 El dispositivo de medición propiamente dicho para la medición de espesores de paredes calientes online sin contacto consiste en al menos un cabezal compacto de medición láser por ultrasonido L1, en el que están alojados láseres de excitación y de iluminación 8 junto con elementos ópticos 9 (véase figura 4) para la recolección de la luz portante que se refleja en la superficie del tubo 3 y que porta la señal de ultrasonido, y que es desplazable por un segmento del tubo en dirección de la circunferencia alrededor del tubo 3, mediante un dispositivo de desplazamiento no representado. Asimismo, en principio es indiferente el tipo de dispositivo de desplazamiento, sólo es importante que se pueda abarcar un segmento determinado del perímetro del tubo.

15 La figura 2 muestra, para ello, el corte transversal de un tubo 3 con un polígono interno hexagonal 4, cuyo centro Z se encuentra alejado a una distancia E del centro Y del círculo exterior 5. Dado que esta excentricidad del tubo es formado por una espiral circular, también la distancia E discurre en dirección longitudinal del tubo alrededor del centro Y, con la consecuencia de que también la parte más delgada S_{\min} y la parte más gruesa S_{\max} (figura 1) del tubo 3 discurren alrededor del centro Y. En la posición inicial, los tres cabezales de medición L1 a L3 están distribuidos en un ángulo de 120° alrededor del tubo a la misma distancia del centro Y del tubo. Los tres cabezales de medición se desplazan en la misma dirección en ambos sentidos por el ángulo φ alrededor del tubo, a saber, el cabezal de medición L1 hacia L1', L2 hacia L2' etc. El cabezal de medición L1 está representado en dirección horizontal, a modo de ejemplo, pero puede ser regulado, en su posición inicial, de modo que su ángulo de desplazamiento sea simétrico al polígono interno, en el caso de un ángulo de desplazamiento φ de, por ejemplo 70° inclinado 5° oblicuamente hacia abajo respecto del nivel horizontal.

25 Los cabezales de medición desplazables L1 a L3 presentan la ventaja de que se puede modificar su posición angular inicial o su ángulo de desplazamiento φ durante el proceso de laminado en curso. Como muestra la figura 3 en otro ejemplo, partiendo del posicionamiento en la figura 2, los cabezales de medición L1 a L3 se pueden modificar, por ejemplo, en su posición inicial, de tal modo que sus ángulos de desplazamiento φ se pueden superponer parcialmente. En la figura 3 se representan los tres cabezales de medición L1 a L3, desplazados entre sí en 70° . Si ahora se desplazan los escáneres $\varphi_1=\varphi_2=\varphi_3 = 70^\circ$, el ángulo φ_2 se escanea dos veces, a saber, de modo que los puntos de medición presentan un desplazamiento definido entre sí. Entonces, por cada unidad de superficie se puede duplicar o incluso triplicar la cantidad de puntos de medición. Sería imaginable, entonces, que durante el funcionamiento en curso, el operador regule la posición angular de los escáneres de modo diferente a la posición normal, en la que se mide con la resolución normal, de modo que en un largo determinado del tubo la trama de medición se hace más densa y se puede observar prácticamente una ampliación del segmento del tubo (función de lupa).

A continuación, en la figura 4 se explicita el principio de la invención, a partir de una representación esquemática, basándose en un ejemplo de un cabezal de medición de un canal:

40 El sistema de medición consiste en el cabezal de medición L1 regulable sobre el diámetro por medir del tubo 3, con los correspondientes elementos de conexión 5 (aire comprimido, agua refrigerante) en el lugar, la electrónica de control y evaluación en la caja de distribución eléctrica 6, y el ordenador del operador en la plataforma de mando 7 del tren reductor-desbastador. Entre el cabezal de medición L1 en el lugar, la caja de distribución eléctrica 6 y la plataforma de mando 7 pueden existir grandes distancias. En principio el dispositivo de medición del espesor de pared está concebido para condiciones duras del entorno en trenes laminadores en caliente.

50 El cabezal de medición L1 con una carcasa especial con una cara frontal refrigerada por agua y ventanas resistentes al calor de vidrio cuarzoso contiene esencialmente los siguientes elementos, no representados porque ya son conocidos: a saber, la rama de excitación ultrasónica con el cabezal del láser de impulso Nd-YAG y la lente de focalización, la rama de detección con el láser de ondas continuas inclusive el controlador, con el filtro infrarrojo, la óptica de ensanchamiento con espejo de desviación y prisma de desviación, un objetivo de representación luminoso para recolectar la luz modulada por ultrasonido retrodispersada por la superficie del tubo.

55 Al área del cabezal de medición L pertenecen, además, (véase figura 5) el análisis sensorial tampoco representado aquí, para reconocer la entrada del tubo para la formación de la señal de inicio/detención, la mecánica de reglaje de los cabezales de medición con dispositivo de desplazamiento y posibilidad de ajuste para el radio y la adaptación de la altura al centro del cilindro (distancia h), la adaptación de dimensiones manual o automática en el caso de la modificación del diámetro de los tubos (distancia "d"), el procedimiento de cabezal de medición (accionada por motor y con funcionamiento por pulso) con tope mecánico para el servicio y la posición de medición, la regulación del ángulo (ángulo " φ "), regulable para un segmento angular de aproximadamente 30° , para variar el tramo de medición entre pared mínima y máxima, tras el tren reductor-desbastador, en el caso de una marcada formación de polígono, es decir, para poder desplazar el cabezal de medición, en general, con regulación angular automática y con motor, con accionamiento, codificador absoluto y supervisión de posición final.

65

REIVINDICACIONES

5 1. Procedimiento para la medición online sin contacto de espesores de paredes calientes, para la detección de estructuras indeseadas en paredes internas, como polígonos internos o semejantes, en tubos (3) laminados en caliente, **caracterizado** porque mediante el procedimiento láser por ultrasonido y la aplicación de múltiples cabezales de medición (L1, L2, L3, L4), durante o inmediatamente después del proceso de laminado se escanea, en dirección de la circunferencia y desde cada cabezal de medición, un segmento de la pared del tubo (3) por medir, y, a través de análisis matemáticos y observaciones de la simetría del recorrido de la pared del corte transversal del tubo, se lo reconstruye en un ordenador, asimismo los cabezales de medición (L1, L2, L3, L4) son desplazables alrededor del tubo (3) en ambas direcciones de la circunferencia y cada cabezal de medición (L1, L2, L3, L4) barre otro segmento asignado de la pared del tubo.

15 2. Procedimiento acorde a la reivindicación 1, **caracterizado** porque de un máximo de cuatro cabezales de medición (L1, L2, L3, L4) distribuidos en el perímetro del tubo (3), al menos uno de los cabezales de medición es desplazado, en dirección de la circunferencia del tubo (3), a lo largo de un segmento angular por determinar, dependiendo de la disposición esperada de la estructura interna indeseada.

20 3. Procedimiento acorde a la reivindicación 1 o 2, **caracterizado** porque los ciclos de desplazamiento de los cabezales de medición (L1, L2, L3, L4) se determinan dependiendo de la velocidad de laminado.

25 4. Procedimiento para la medición online sin contacto de espesores de paredes calientes, para la detección de estructuras indeseadas en paredes internas, como polígonos internos o semejantes, en tubos laminados en caliente, **caracterizado** por múltiples cabezales de medición (L1, L2, L3, L4) compactos de láser por ultrasonido, regulables sobre la dimensión del tubo por medir, en los que están alojados los láseres de excitación y de iluminación (8) junto con elementos ópticos (9), para la recolección de la luz portante que se refleja en la superficie del tubo (3) y que porta la señal de ultrasonido, asimismo, los cabezales de medición láser por ultrasonido (L1, L2, L3, L4) son desplazables por un segmento del tubo en ambas direcciones de la circunferencia alrededor del tubo (3), mediante un dispositivo de desplazamiento perteneciente al dispositivo.

30 5. Dispositivo acorde a la reivindicación 4, **caracterizado** porque los cabezales de medición láser por ultrasonido (L1, L2, L3, L4) están unidos a una electrónica de control y de evaluación (6).

35 6. Dispositivo acorde a la reivindicación 4 o 5, **caracterizado** porque las señales de salida correspondientes a los valores de los espesores de pared de la evaluación por ultrasonido son procesados posteriormente en un ordenador perteneciente al sistema.

40 7. Dispositivo acorde a una de las reivindicaciones 4 a 6, **caracterizado** porque para la medición de tubos reducidos (3), sus tubos previos fueron realizados en un proceso de laminado transversal, y tres cabezales de medición (L1, L2, L3) están distribuidos regularmente alrededor del perímetro del tubo (3) y son desplazables 70° en conjunto.

45 8. Dispositivo acorde a una de las reivindicaciones 4 a 6, **caracterizado** porque para la medición de tubos reducidos (3), sus tubos previos fueron realizados en un proceso de laminado transversal, y cuatro cabezales de medición (L1, L2, L3, L4) están distribuidos regularmente alrededor del perímetro del tubo (3) y de los cuales al menos un cabezal de medición es desplazable en un ángulo de 70°.

50 9. Dispositivo acorde a una de las reivindicaciones 4 a 6, **caracterizado** porque para la medición de tubos reducidos (3), sus tubos previos fueron realizados en un proceso de laminado transversal, y tres o cuatro cabezales de medición (L1, L2, L3, L4) están distribuidos regularmente alrededor del perímetro del tubo (3) y de los cuales al menos un cabezal de medición es desplazable en un ángulo de 90°.

55 10. Dispositivo acorde a una de las reivindicaciones 4 a 9, **caracterizado** porque los ángulos de desplazamiento de los cabezales de medición (L1, L2, L3, L4) se superponen parcialmente.

55

60

65

Fig. 1

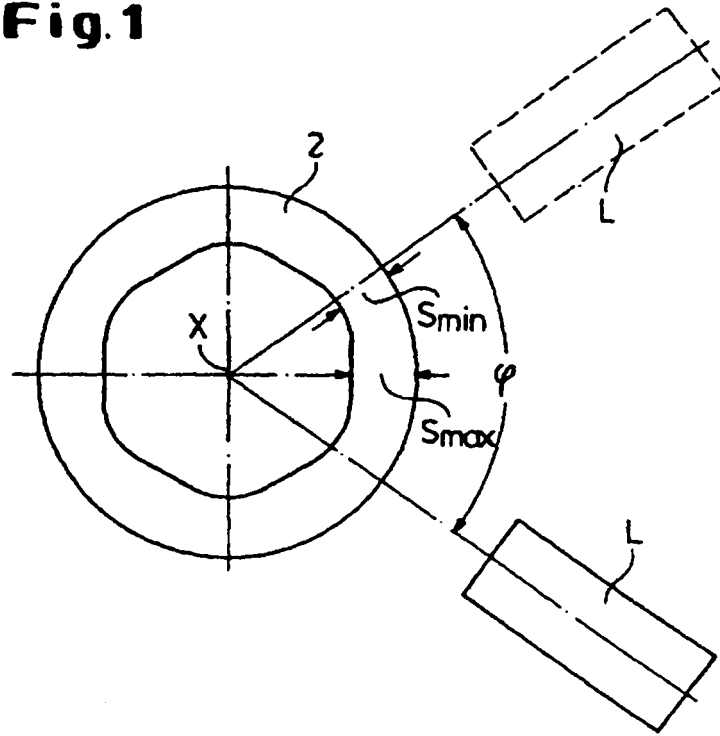
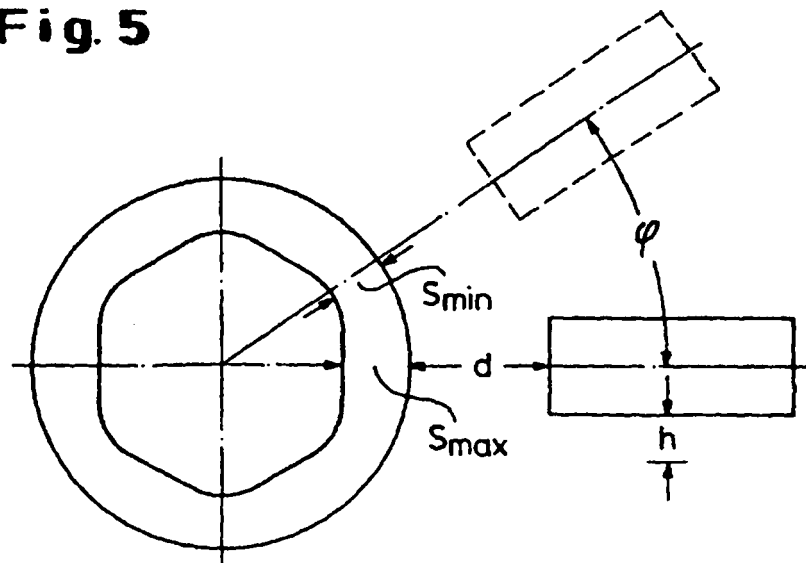


Fig. 5



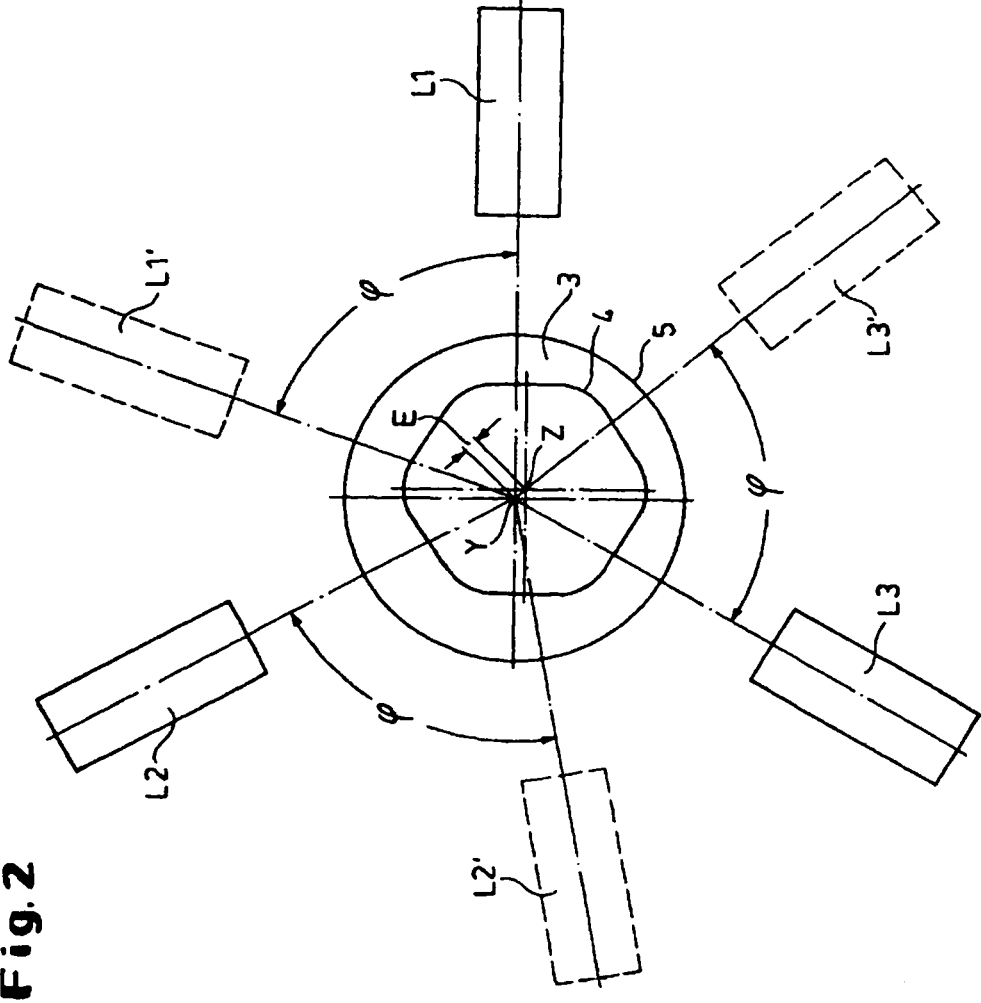


Fig. 2

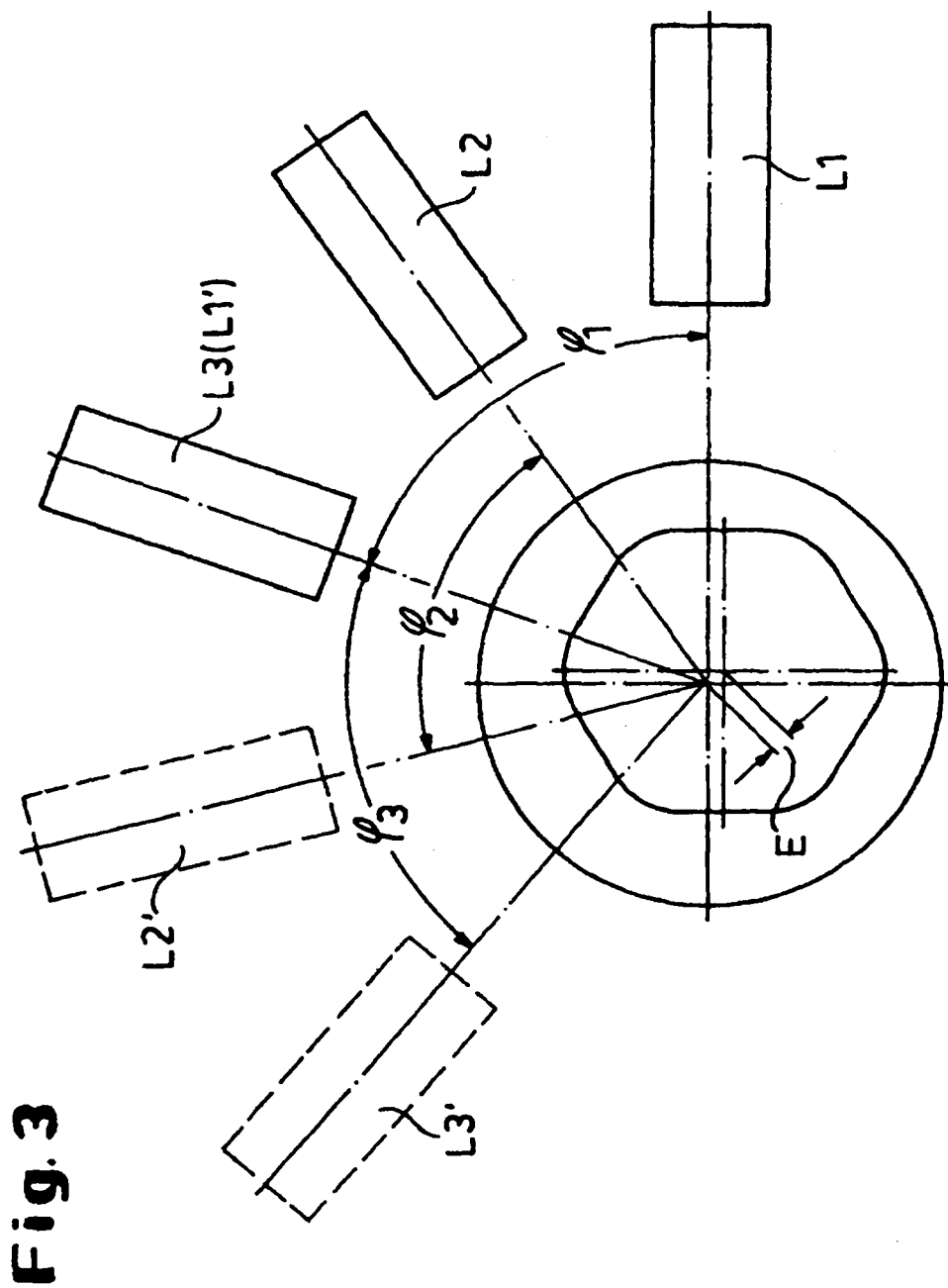


Fig. 3

Fig. 4

