

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 453 269**

51 Int. Cl.:

G01B 21/24 (2006.01)

G01B 21/20 (2006.01)

F27B 7/42 (2006.01)

G01B 7/28 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.11.2010 E 10795028 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.01.2014 EP 2499453**

54 Título: **Método para medir y alinear un aparato cilíndrico giratorio**

30 Prioridad:

11.11.2009 FI 20096175

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

07.04.2014

73 Titular/es:

**ANDRITZ OY (100.0%)
Tammasaarekatu 1
00180 Helsinki, FI**

72 Inventor/es:

**HÄKKINEN, TEEMU;
IIVARINEN, HEIKKI;
KAIKKONEN, PERTTI y
LINTUNEN, TUOMO**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 453 269 T3

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

DESCRIPCIÓN

Método para medir y alinear un aparato cilíndrico giratorio

5 La presente invención se refiere a un método de medición y alineación de un aparato cilíndrico giratorio o de otro aparato de rotación simétrica, por ejemplo en forma de cono truncado. El aparato de rotación simétrica puede ser, por ejemplo, un horno, tal como un horno de cal o un horno para cemento, o un tambor, usado en la industria de la pasta química.

10 En este contexto, alinear un aparato cilíndrico giratorio, tal como un horno o un tambor, se refiere a enderezar la envoltura del mismo, por ejemplo con el fin de mantener los ladrillos en su sitio en el horno y para garantizar el funcionamiento deseado. En la práctica, esto significa transferir los puntos centrales de la envoltura de un objeto giratorio a una línea recta común en la ubicación de sus puntos de soporte. A su vez, el ajuste de un aparato giratorio se refiere en general a modificar los ángulos de declinación de los rodillos de soporte del aparato giratorio
15 con respecto a la línea central del aparato. El ajuste tiene como objetivo reducir el desgaste de las partes mecánicas y obtener el funcionamiento deseado del aparato.

A partir del estado de la técnica se conoce la alineación de un aparato giratorio usando, por ejemplo, la disposición del modelo de utilidad finlandés 8330, que comprende puntos de orientación fijados alrededor del aparato, puntos de medición fijados en conexión con anillos de soporte, puntos de medición fijados en conexión con rodillos de soporte
20 previstos para soportar los anillos de soporte, y al menos dos puntos de estación para ajustar el dispositivo de medición a dicho punto de estación, y aparatos adicionales. Por tanto, la solución según dicha publicación utiliza, además de un dispositivo de medición, un punto de medición fijado físicamente en el objeto de medición. El punto de medición puede ser, por ejemplo, un blanco, un adhesivo, un prisma o una barra. En la solución según dicha publicación, el objeto se mide cuando está frío.

La publicación estadounidense 5 491 553 presenta a su vez una disposición para medir un horno, donde el dispositivo de medición está fijado en una base que está situada debajo del horno para la medición. En la publicación, el dispositivo de medición comprende tres láseres semiconductores.
30

En las soluciones de la técnica anterior, tal como, por ejemplo, la publicación finlandesa 8330, un objeto de tipo tambor se mide en estado estacionario, es decir, frío. Sin embargo, medir un horno o un tambor fríos no proporciona un resultado correcto ya que la geometría del horno o del tambor cambia durante el funcionamiento debido a, por ejemplo, la expansión térmica. En la técnica anterior no siempre se ha tenido en cuenta la expansión térmica, sino
35 que la alineación se lleva a cabo según la geometría de un horno o un tambor fríos. Por tanto, la alineación puede diferir en gran medida con respecto a la alineación correcta. Además, tener en cuenta la expansión térmica durante la alineación es muy tedioso y normalmente es imposible realizar esto con precisión. Asimismo, un problema que surge cuando se mide un horno o un tambor fríos es que durante la medición y la alineación, el horno o el tambor no deben estar en funcionamiento. En la práctica, esto significa que la medición y la alineación deben llevarse a cabo en periodos de inactividad, cuando se llevan a cabo diversas tareas de reparación y mantenimiento en la fábrica. Planificar la medición y la alineación con las demás tareas puede ser muy difícil.
40

Otro problema de las soluciones conocidas se debe a la finalidad de alinear la envoltura del aparato de manera indirecta, por ejemplo midiendo los diámetros de los rodillos de soporte, la distancia entre los rodillos de soporte, el diámetro de los anillos de soporte, las diferencias relativas de altitud de las bases de los rodillos de soporte, las separaciones entre la envoltura y el anillo de soporte, etc. Una medición indirecta en frío de este tipo es claramente menos fiable que la medición durante el funcionamiento del horno, ya que las temperaturas varían en diferentes pilares. Por esta razón, la separación entre la envoltura y el anillo no es constante, sino que la línea central del horno varía. Según la técnica anterior, la separación se mide a través de un deslizamiento hacia atrás, pero la medición no es totalmente fiable ya que el deslizamiento varía ligeramente debido a, por ejemplo, la velocidad de rotación.
50

En la solución según dicha publicación estadounidense, colocar el dispositivo de medición debajo del objeto que va a medirse es engorroso y lento.

55 Además, el equipo que se necesita es pesado. Por estas razones, la medición solo se lleva a cabo en un lado del anillo de soporte. Además, la medición se lleva a cabo debajo de la envoltura en un solo lado, por lo que no es posible llevar a cabo la medición cerca del anillo de soporte debido a los rodillos de soporte situados debajo del anillo de soporte. Un problema adicional de la técnica según dicha publicación estadounidense es la estrechez del sector en el que pueden medirse los puntos de medición. Un sector de medición estrecho no proporciona un resultado fiable. Además, la forma de la envoltura varía muy poco en el lado inferior, lo que reduce adicionalmente la fiabilidad del resultado de medición.
60

El documento EP 0420663 da a conocer la alineación de un horno caliente, mediante la cual las mediciones se llevan a cabo cerca de los anillos de soporte, se calcula una línea central correspondiente a las posiciones de medición y cada anillo de soporte se mueve después en una cantidad correspondiente con el fin de alinear el horno.
65

El documento JP 6159942 da a conocer la alineación de un horno, mediante la cual las mediciones se llevan a cabo a ambos lados de cada anillo de soporte. Se hallan desviaciones con respecto a una línea de datos y después el horno se alinea de manera correspondiente.

- 5 El documento US 7.110.910 describe puntos de medición en un aparato de rotación simétrica. Se calculan centroides y se ajusta una línea con respecto a los mismos.

El documento CA 2028505 da a conocer la medición de desviaciones en la envoltura de un horno.

- 10 La presente invención proporciona una solución para los problemas anteriores. Según la presente invención se ha desarrollado una solución novedosa para medir y alinear un aparato cilíndrico giratorio.

La invención está definida en las reivindicaciones adjuntas.

- 15 Según la presente invención, la geometría de un objeto giratorio se mide durante su funcionamiento. Los resultados de la medición permiten alinear el objeto y, posteriormente, comprobar la alineación mediante una nueva medición. Para ser más exactos, un objeto de la invención es determinar la geometría del objeto durante su funcionamiento formando un modelo tridimensional de los puntos de medición, mediante el cual es posible, por ejemplo, determinar los puntos centrales de la envoltura en los puntos de soporte respecto unos de otros.

- 20 La medición requiere un equipo mediante el cual sea posible crear un modelo del objeto en un sistema de coordenadas tridimensional mediante los puntos de medición. Según la invención, la medición usa un aparato que puede medir el punto de medición directamente desde la superficie del objeto que está midiéndose sin ningún blanco, tal como un adhesivo, un prisma o una barra. En la práctica, la medición puede llevarse a cabo con un taquímetro electrónico o un escáner tridimensional. Además, se necesita un software para la medición y la posterior alienación del horno o tambor, mediante el cual pueda crearse un modelo tridimensional del objeto de medición en función de los puntos de medición. Para la medición se crea una red de puntos de orientación alrededor del horno, lo que permite orientar el dispositivo de medición en un punto de estación libre o conocido en un sistema de coordenadas deseado. Por tanto, el dispositivo de medición puede colocarse en una ubicación fácilmente accesible, por ejemplo en una ubicación muy estable en las inmediaciones del objeto que va a medirse y no es necesario colocarlo en una zona estrecha o poco adecuada, por ejemplo debajo del objeto que va a medirse.

- 30 Cuando se mide un objeto giratorio se usa normalmente un punto de estación libre. Los puntos de orientación se dispondrán en las inmediaciones del objeto de manera que al menos dos puntos de orientación puedan observarse desde cada punto de estación libre planificado. Todos los puntos de orientación pueden determinarse en un sistema de coordenadas deseado desde un punto para poder determinar posteriormente el punto de estación libre con la máxima precisión.

- 40 El objetivo de la medición es medir el punto central de un objeto giratorio en los anillos de soporte y la dirección de los ejes de los rodillos de soporte en relación con la línea central calculada de la envoltura. Un número adecuado de puntos de medición se miden en la envoltura del objeto giratorio desde el lado superior y desde el lado inferior, es decir, en la dirección axial a ambos lados a las mismas distancias en la misma línea y a la misma distancia desde el anillo de soporte para que los puntos de medición cubran un sector adecuado de la envoltura a ambos lados de cada anillo de soporte. El número adecuado de puntos de medición para lograr la precisión requerida de medición depende del caso. Según la invención, el número de puntos de medición es al menos tres. Se obtienen buenos resultados con, por ejemplo, diez puntos de medición aproximadamente. Naturalmente, la precisión aumenta añadiendo más puntos de medición. Cuando se escanea la envoltura del objeto que se está midiendo y alineando, los puntos de medición se producen a intervalos homogéneos y su número está comprendido preferentemente entre 20 y 60 aproximadamente. El lado superior se refiere en este caso al lado del anillo de soporte desde el cual el material que va a tratarse se introduce en el horno o en el tambor, y el lado inferior se refiere al lado desde el cual el material se descarga del horno o el tambor. Dicho de otro modo, el producto se mueve dentro del horno o el tambor de arriba abajo. Un objeto giratorio se mide desde un lado de la envoltura como mínimo. Según la invención, la medición se lleva a cabo en la envoltura del objeto giratorio, preferentemente en al menos dos lados.

- 55 Según la invención, el objeto gira al menos una vez durante la medición, por lo que los puntos de medición cubren todas las posibles posiciones de movimiento de la envoltura del horno o del tambor. Las líneas de medición se disponen tan cerca del anillo de soporte como sea posible y a la misma distancia del anillo a ambos lados del mismo, como se muestra en la figura 1. Las líneas de medición se crean en los rodillos de soporte tanto en el lado superior como en el lado inferior sobre la superficie del rodillo y a partir de las mismas se mide un número adecuado de puntos, por ejemplo 60 puntos aproximadamente, a distancias homogéneas. Los rodillos de empuje axial pueden medirse usando una sola línea de medición ya que es necesario determinar los puntos centrales de los rodillos de empuje axial en relación con la línea central del horno. Los puntos de medición medidos se transmiten a un ordenador, en el cual se lleva a cabo el análisis y el cálculo reales de los resultados. Gracias a un programa, la regresión circular, es decir, el círculo más apropiado para todos los puntos de medición, se calcula a partir de los puntos medidos en las líneas de medición. Se determinan coordenadas para los puntos centrales de los círculos calculados en un sistema tridimensional de coordenadas. Después se determina un segmento de línea entre los

puntos centrales de los círculos calculados a ambos lados de los anillos de soporte de cada pilar y se determinan coordenadas para el punto central de este segmento de línea. De esta manera, las coordenadas del punto central de la envoltura pueden determinarse desde el centro del anillo de soporte con una gran precisión. Cálculos correspondientes se llevan a cabo para los rodillos de soporte. Es decir, primero se calculan los círculos más apropiados a partir de los puntos de medición y las coordenadas de los puntos centrales determinadas para los mismos, tras lo cual se determina una línea recta entre los puntos centrales. Cuando las coordenadas de los puntos centrales de la envoltura se han determinado desde el centro de los anillos de soporte como se ha mencionado anteriormente, puede calcularse una línea recta de referencia para la línea central de la envoltura. La línea recta de referencia puede determinarse como una línea recta de regresión o bien teniendo en cuenta las coordenadas de los puntos centrales de todos los pilares o bien fijando las coordenadas del punto central de un pilar en la línea recta. La línea recta de referencia también puede determinarse fijando los puntos centrales de dos pilares como una línea recta. Después, es posible calcular las distancias verticales y horizontales de los puntos centrales de la envoltura con respecto a la línea recta de referencia determinada. Además, en función de la línea recta de referencia se conoce el ángulo de declinación del objeto y puede compararse con el ángulo de declinación designado. En lo que respecta a los rodillos de soporte, los ángulos de declinación verticales y horizontales de los mismos pueden determinarse con respecto a la línea recta de referencia calculada de la envoltura del objeto, así como los puntos centrales de los ejes de los rodillos. A través de los valores calculados, la envoltura del objeto puede alinearse de manera recta transfiriendo los puntos centrales de los segmentos de línea ubicados entre los puntos centrales de las regresiones circulares calculadas a la línea de referencia calculada. Estos puntos centrales para los segmentos de línea son los mismos que los puntos centrales de rotación de la envoltura. El cálculo puede llevarse a cabo utilizando los puntos centrales determinados de los ejes de los rodillos de soporte o, como alternativa, también es posible medir los diámetros de los rodillos de soporte y los anillos de soporte, la distancia entre los rodillos de soporte y la separación entre la envoltura y el rodillo de soporte, en base a lo cual la geometría requerida para la alineación puede resolverse matemáticamente. Además, los ángulos de declinación verticales de los rodillos de soporte pueden ajustarse para que correspondan con el ángulo de declinación de la envoltura, si fuera necesario. Cuando se han realizado las transferencias requeridas puede llevarse a cabo una medición de control.

Ventajas adicionales de la invención incluyen las siguientes:

- 30 - la medición se realiza fácil y rápidamente durante el funcionamiento,
- el equipo requerido para la medición es ligero y una persona puede sostenerlo con facilidad,
- resultado de medición muy exacto, que proporciona una buena alineación y una mejor operabilidad del horno o el tambor,
- 35 - el resultado de la medición puede verificarse mediante una nueva medición,
- la medición y la alineación pueden llevarse a cabo durante el funcionamiento, por lo que no es necesario ningún periodo de inactividad,
- 40 - pueden anticiparse los ajustes y evitarse situaciones problemáticas, y
- el método de medición descrito elimina factores de riesgo en las mediciones en comparación con métodos anteriores de medición de niveles básicos de los rodillos de soporte; estos factores de riesgo, especialmente con relación a cojinetes lisos, incluyen, por ejemplo, un desgaste irregular en las mitades de los cojinetes lisos y diferencias de dimensión entre chumaceras.
- 45

A continuación se describe la invención en mayor detalle con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

50 La figura 1 ilustra una solución según la invención para medir la envoltura de un objeto cilíndrico giratorio.

La figura 2 ilustra el perfil real de la envoltura.

55 La figura 3 ilustra el aparato según la invención como un dibujo esquemático y un ejemplo de ubicación de los puntos de orientación y de los puntos de estación libres en las inmediaciones del aparato.

La figura 1 ilustra una solución según una realización preferida de la invención, que muestra una parte de una envoltura 10 de un tambor o un horno alineada, un anillo de soporte 20, rodillos de soporte 30, un dispositivo de medición 40, el lado superior 70 y el lado inferior 80 del anillo de soporte y el lado izquierdo 90 y el lado derecho 100 de la envoltura. A ambos lados del anillo de soporte se determinan líneas de medición 50, a partir de las cuales se miden los puntos de medición. Los puntos de medición medidos se transmiten desde el dispositivo de medición, a través de una línea de transferencia de datos, a un ordenador 190, por ejemplo un aparato tipo PC, que produce un modelo tridimensional del aparato y realiza el análisis y el cálculo reales de los resultados necesarios para la alineación. Mediante un programa se calculan regresiones circulares a partir de los puntos medidos. Se determinan coordenadas para los puntos centrales de los círculos calculados en un sistema tridimensional de coordenadas.

Después, se determina un segmento de línea 110 entre los puntos centrales de los círculos calculados a ambos lados de los anillos de soporte 20 de cada pilar y se determinan coordenadas para el punto central 60 de este segmento de línea. De esta manera, las coordenadas del punto central de rotación 60 de la envoltura 10 pueden determinarse a partir del centro del anillo de soporte 20 con gran precisión. Cálculos correspondientes se llevan a cabo para los rodillos de soporte 30. Es decir, primero se calculan los círculos más apropiados a partir de los puntos de medición y las coordenadas de los puntos centrales determinadas para los mismos, tras lo cual se determina un segmento de línea entre los puntos centrales y un punto central 120 para dicho segmento de línea.

La figura 2 ilustra el perfil real de la envoltura en la línea de medición y el punto central 170 de rotación. Las líneas continuas 130 ilustran la forma de la envoltura durante la rotación. El punto central 170 del círculo 180 calculado según la invención, según se ha descrito anteriormente, ilustra el punto central de rotación de la envoltura, no el punto central geométrico 140. El punto central de rotación 170 se determina formando una regresión circular 180 a partir de un número adecuado de puntos de medición 160 medidos a partir de la línea de medición 50 a lo largo de un sector 150 de tamaño adecuado, donde el punto central de la regresión circular ilustra el punto central de rotación promedio de la envoltura. Puesto que la envoltura de un horno o un tambor, especialmente cuando está caliente, tiene una tendencia conocida a abollarse en los rodillos de soporte así como desde la parte superior durante la rotación, la forma real de la envoltura no es circular, sino predominantemente ovalada. Además, la envoltura puede moverse ligeramente de manera radial durante la rotación, de manera que midiendo la envoltura durante la rotación, el punto central de rotación promedio 170 de la envoltura se obtiene según la figura 2.

La figura 3 ilustra un ejemplo de la ubicación de los puntos de orientación y de un punto de estación libre en las inmediaciones del objeto. La figura 3 muestra un aparato cilíndrico giratorio, por ejemplo un horno o un tambor 300. Es portado por anillos de soporte 20 soportados sobre rodillos de soporte 30, donde los anillos de soporte situados en el centro están rodeados por rodillos de empuje axial 220 mostrados. Los rodillos de empuje axial también pueden medirse y alinearse. Según la invención, al menos un rodillo de empuje axial 220 se mide creando una línea de medición en la superficie de cada rodillo y midiendo puntos de medición en al menos un lado. Regresiones circulares se calculan a partir de estos puntos de medición y puntos centrales son definidos para las regresiones circulares que ilustran el punto central de los rodillos de empuje axial. Los rodillos de empuje axial se alinean con respecto a la misma línea recta con la envoltura del horno transfiriendo el punto central de la regresión circular calculada a partir del rodillo de empuje axial como se ve desde arriba a la línea recta de regresión que ilustra la envoltura.

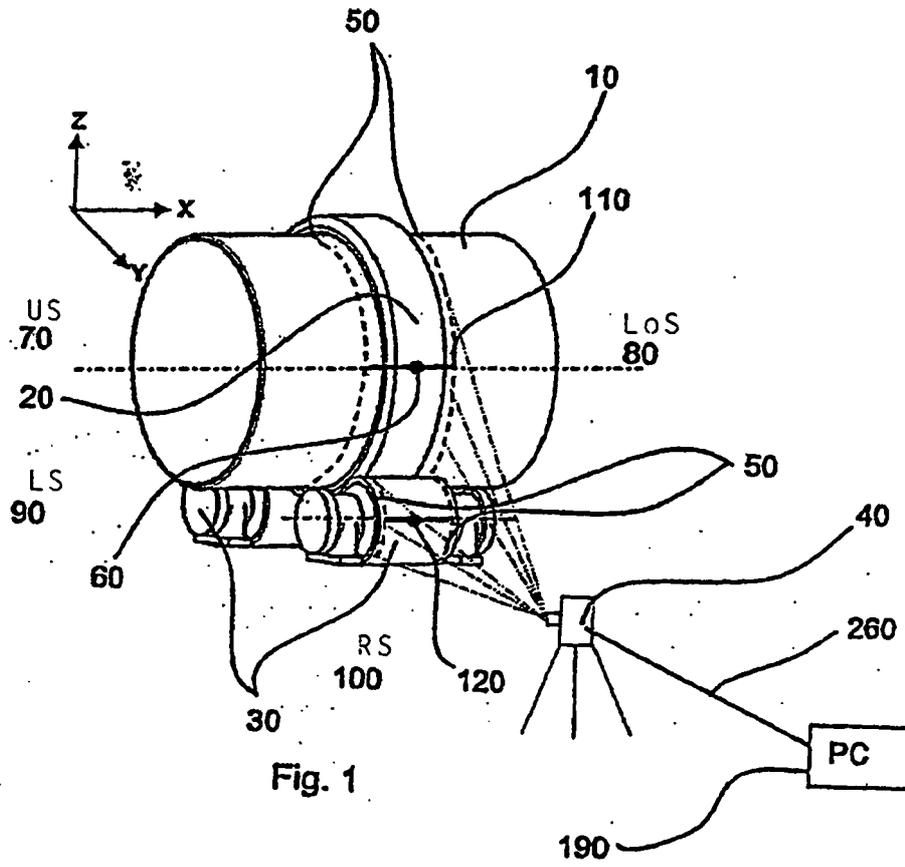
Además, la figura 3 ilustra una línea 210 que, de manera simplificada, ilustra la línea central medida real del horno, y una línea recta de referencia 200. La línea recta de referencia 200 puede determinarse como una línea recta de regresión o bien teniendo en cuenta las coordenadas 60 de los puntos centrales de todos los pilares o bien fijando las coordenadas del punto central de un pilar en la línea recta. La figura ilustra además una pluralidad de puntos de orientación 240, que han permitido determinar los puntos de estación libres 230 y las líneas centrales medidas 250 de los ejes de los rodillos de soporte.

Aunque la descripción anterior se refiere a una realización de la invención que, en vista del presente conocimiento, se considera la más preferible, a un experto en la técnica le resulta evidente que la invención puede modificarse de muchas maneras diferentes dentro del alcance definido por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

- 1.- Un método de medición y alineación de un aparato cilíndrico giratorio u otro aparato de rotación simétrica (300), tal como, por ejemplo, un horno o un tambor, presentando dicho aparato una envoltura (10) y al menos un anillo de soporte (20), cada uno de los cuales presenta un conjunto de rodillos de soporte (30), mediante un dispositivo de medición (40), en el que durante la rotación del aparato giratorio (300) en condiciones de proceso se llevan a cabo las siguientes etapas:
- 5 se miden puntos de medición (160) en la envoltura (10) del aparato giratorio (300), directamente desde su superficie, en la dirección axial a ambos lados de cada anillo de soporte (20) a lo largo de la misma línea de medición circular (50) esencialmente a las mismas distancias desde el anillo de soporte (20),
- 10 se calculan regresiones circulares (180) a partir de los puntos de medición medidos (160),
- 15 se determinan puntos centrales (170) para las regresiones circulares calculadas (180),
- se determina un segmento de línea (110) entre los puntos centrales (170) de las regresiones circulares (180) calculadas a ambos lados del anillo de soporte (20) y se determinan coordenadas para el punto central (60) de este segmento de línea, punto central (60) que es simultáneamente el punto central de rotación de la envoltura (10),
- 20 se calcula una línea recta de referencia (200) para la línea central de la envoltura (10) como una línea recta de regresión,
- se calculan las distancias de los puntos centrales (60) de los segmentos de línea entre los puntos centrales (170) de las regresiones circulares (180) con respecto a la línea recta de referencia (200) definida, y
- 25 se alinea de manera rectilínea la envoltura (10) del aparato giratorio (300) transfiriendo los puntos centrales de las rotaciones de la envoltura (10), que son los mismos que los puntos centrales determinados (60) de los segmentos de línea entre las regresiones circulares (180), a la línea de referencia calculada (200).
- 30 2.- Un método según la reivindicación 1, caracterizado porque se miden los rodillos de soporte (30) creando líneas de medición circulares (50) alrededor de la superficie de cada rodillo de soporte (30) tanto en el lado superior como en el lado inferior, siendo el lado superior el lado desde el cual el material que va a tratarse se introduce en el aparato giratorio (300) y siendo el lado inferior el lado desde el cual el material se descarga del aparato giratorio (300), y, midiendo puntos de medición:
- 35 se calculan regresiones circulares desde los puntos de medición,
- se determinan coordenadas de puntos centrales con respecto a las regresiones circulares, y
- 40 se define un segmento de línea entre los puntos centrales y se define un punto central (120) para el segmento de línea.
- 3.- Un método según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque un ángulo de declinación vertical del eje de rotación de cada uno de los rodillos de soporte (30) se mide y compara con el ángulo de declinación de la envoltura (10).
- 45 4.- Un método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque después de las transferencias de alineación se lleva a cabo una medición de control.
- 50 5.- Un método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el ángulo de declinación de la línea central del aparato giratorio (300) obtenido a partir de la línea de referencia (200) se compara con el ángulo de declinación diseñado del aparato giratorio (300).
- 55 6.- Un método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la medición se lleva a cabo usando un dispositivo (40) que puede medir el punto de medición (160) directamente desde la superficie del aparato giratorio (300) que está midiéndose, sin ningún blanco, tal como un blanco adhesivo, un prisma o una barra.
- 60 7.- Un método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los puntos de medición se miden en la envoltura (10) desde al menos un lado de la envoltura.
- 8.- Un método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado porque los puntos de medición se miden en la envoltura (10) del aparato giratorio (300) desde al menos dos lados de la envoltura (10).
- 65 9.- Un método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque además se mide al menos un rodillo de empuje axial (220) creando una línea de medición circular alrededor de la superficie de cada

5 rodillo de empuje axial (220) y midiendo puntos de medición, se calculan regresiones circulares a partir de los puntos de medición, se definen puntos centrales para las regresiones circulares, puntos centrales que ilustran el punto central de los rodillos de empuje axial, y se alinean los rodillos de empuje axial (220) con respecto a la misma línea recta con la envoltura (10) del aparato giratorio (300) transfiriendo el punto central de rotación del rodillo de empuje axial (220), que se calcula a partir de las regresiones circulares, como se ve desde arriba, a la línea recta de regresión que ilustra la envoltura.



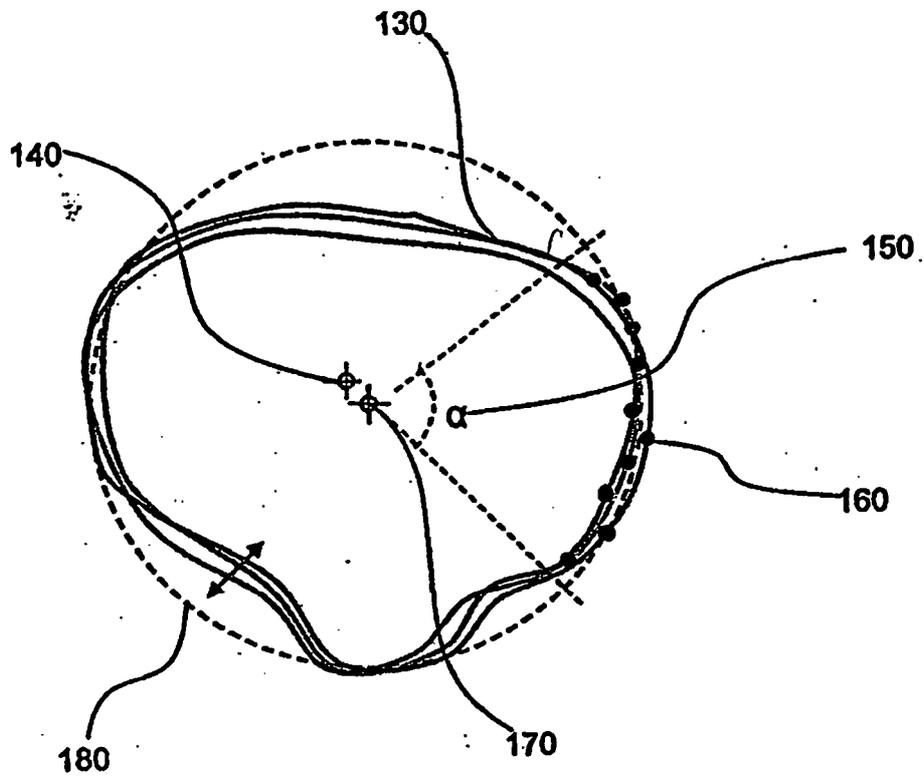


Fig. 2

