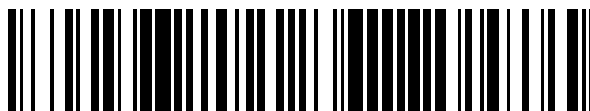


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 632 617**

51 Int. Cl.:

**F16C 33/64** (2006.01)

**G05B 19/4099** (2006.01)

**G01M 1/34** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.01.2014 PCT/FR2014/050029**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.07.2014 WO14108638**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.01.2014 E 14704383 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.03.2017 EP 2943767**

54 Título: **Procedimiento de equilibrado de una pieza giratoria para producir una pieza giratoria mecanizada y equilibrada**

30 Prioridad:

**14.01.2013 FR 1350297**

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

**14.09.2017**

73 Titular/es:

**VIDEOMETRIC (100.0%)  
235 rue Pierre et Marie Curie  
63730 Les-Martres-de-Veyre, FR**

72 Inventor/es:

**PEUCHOT, BERNARD**

74 Agente/Representante:

**PONS ARIÑO, Ángel**

ES 2 632 617 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 de equilibrado de una pieza giratoria para producir una pieza giratoria mecanizada y equilibrada

**5 Campo de la invención**

La presente invención se refiere al campo del mecanizado de pieza mecánica giratoria por un equipo de mecanizado pilotado por un control digital.

10 Las piezas giratorias son, por ejemplo, y de manera no limitativa, unos cigüeñales o unos rotores de motor eléctrico, unas turbinas, etc.

15 Las piezas giratorias incluyen ciertas zonas mecanizadas que responden a unas tolerancias escasas y ciertas zonas de menores tensiones, que permiten ajustar las dimensiones con vistas a un equilibrado perfecto de la pieza giratoria.

En la descripción que sigue, la invención se describe en el caso de la fabricación de un cigüeñal equilibrado, sin que esto limite la protección a solo los cigüeñales.

20 Para un cigüeñal, las zonas mecanizadas de tolerancias escasas (tradicionalmente el orden de cinco micras) son, por ejemplo, los cojinetes y las manecillas cuyos posicionamiento y dimensiones deben ser muy precisos para poder respetar las tensiones de fabricación y de funcionamiento del motor. Puede tratarse igualmente de perforaciones o zonas que son objeto de un mecanizado específico. Estas zonas mecanizadas están unidas por unas zonas de tolerancia más relajada (tradicionalmente del orden del milímetro, incluso más) correspondientes sencillamente a  
25 unas tensiones de paso en el bloque motor.

Son estas últimas zonas las que pueden ajustarse para llevar a cabo el equilibrado del cigüeñal, tradicionalmente por eliminación de materia en los procesos industriales actuales.

30 En el estado de la técnica, el equilibrado se realiza por eliminación de materia en las zonas de tolerancia relajada, según las indicaciones de la máquina de equilibrado: se realiza un cigüeñal, se le monta sobre un banco de equilibrado para medir su desequilibrio y se procede a continuación a las eliminaciones de materia indicadas, hasta que la medición sobre el banco sea satisfactoria. La elección de las zonas de eliminación y la cantidad de materia a eliminar se indican por el banco de equilibrado mecánico. La eliminación de materia se hace, por ejemplo, por la  
35 perforación de las zonas designadas, tradicionalmente en los contrapesos que corresponden a unas zonas de tolerancia relajada.

**Estado de la técnica**

40 Se conocen en el estado de la técnica unas soluciones de equilibrado mecánico. Una solución de este tipo se describe, por ejemplo, en la solicitud de patente americana US2003230142 o la patente americana US4545341.

45 Se conoce igualmente la patente francesa FR2797314 que se refiere a un procedimiento de mecanizado de cigüeñal del tipo del que incluye las siguientes operaciones principales: - determinación de los puntos de partida, - mecanizado de los extremos, cojinetes y manecillas, - realización de los agujeros de aceite, - acabado de los extremos, cojinetes y manecillas, - medición dinámica y eventual eliminación de materia con unos fines de equilibrado, destacable por que consiste en realizar las operaciones de medición dinámica de las masas y de eliminación de materia con unos fines de equilibrado, antes de las operaciones de acabado.

50 Se conocen igualmente en el estado de la técnica unas soluciones para evitar los ajustes sucesivos, por una preparación de un fichero de control de una máquina de mecanizado, que tiene como objeto la obtención en una sola etapa de una pieza giratoria que presenta un equilibrado satisfactorio.

55 La patente europea EP1760443 describe de este modo un procedimiento de equilibrado de cigüeñales que comprenden unas partes mecanizadas en extremos de ejes A, B, unas manecillas, gorriones y contrapesos caracterizado por que:

- se procede al establecimiento, por vía digital, al diseño de un cigüeñal de referencia del tipo a obtener sobre la base de datos de cliente.
- 60 - se procede a la fabricación de un cigüeñal que se analiza a continuación en un sistema de estereovisión por la identificación de una multitud de puntos de imágenes en el espacio de manera que se reconstituya la superficie real en tres dimensiones que limitan su volumen, se deduce de ello su eje de inercia.
- se compara a continuación, por digitalización, el cigüeñal de referencia con el cigüeñal fabricado y visionado: verificación de su conformidad/tolerancias dimensionales.
- 65 - se procede, por tratamiento digital, a su mecanizado virtual/eje de inercia calculado anteriormente.
- se procede a continuación al cálculo del nuevo eje de inercia/nuevo reparto de las masas que resultan del

mecanizado.

- se procede finalmente, sobre una máquina, a la rectificación de los extremos del cigüeñal y perforación de los agujeros de centro que materializan el eje de inercia ideal.

5 También se conoce la patente europea EP2305420 que se refiere a un procedimiento de determinación del centro de rotación.

Otro documento de la técnica anterior, la patente japonesa JP2007264746 describe un procedimiento que tiene como objeto calcular con precisión el centro de rotación de una pieza giratoria, que consiste en medir la forma tridimensional de un trabajo de pretrabajo, después en realizar los siguientes tratamientos:

- 10
- una etapa de preparación de la forma acabada, después de conformación de rotación de un trabajo por simulación,
  - una etapa destinada a la exclusión de cualquier sección que excede de la forma tridimensional del trabajo de pretrabajo adquirida por la medición de la forma acabada sobre la base de la simulación,
  - 15 - y una etapa para calcular el centro de rotación de la forma con la exclusión de la sección que excede.

#### Inconvenientes de la técnica anterior

20 Las soluciones de la técnica anterior no son satisfactorias, pues los procedimientos que implementan unos ajustes mecánicos sucesivos son empíricos, necesitan unas operaciones largas y tediosas y no siempre permiten converger hacia una pieza perfectamente equilibrada.

25 La solución propuesta en la patente EP1760443 tampoco es satisfactoria, pues se apoya sobre un modelo de cálculo inadecuado cuando el esbozo inicial presenta unas imperfecciones demasiado importantes. En estos casos, la pieza obtenida necesita de todas formas unos ajustes adicionales.

#### Solución aportada por la invención

30 La presente invención tiene como objeto remediar los inconvenientes de la técnica anterior, proponiendo un procedimiento de preparación de fichero de control del equipo de mecanizado que asegura un equilibrio satisfactorio que reduce las compensaciones adicionales, incluso cuando el esbozo original presenta unas imperfecciones importantes.

35 Para ello, la presente invención se refiere, según su acepción más general, a un procedimiento de equilibrado de una pieza giratoria para producir una pieza giratoria mecanizada y equilibrada, que comprende unas zonas mecanizadas de fuerte tolerancia (rodamientos, cojinetes,...) y unas zonas de escasa tolerancia, mecanizadas o no (superficies brutas,...),

40 A partir de un esbozo de pieza giratoria, por una parte, y de un modelo digital nominal de las tensiones de mecanizado de las zonas mecanizadas de fuertes y escasas tolerancias de una pieza giratoria nominal, por otra parte

- 45
- incluyendo dicho procedimiento una etapa inicial de digitalización de dicho esbozo para la obtención de un modelo digital de dicho esbozo, en un sistema de referencia de digitalización predeterminado
  - una primera etapa de mecanizado virtual de dicho modelo digital del esbozo, para el cálculo de un modelo digital intermedio en el sistema de referencia diana de una pieza giratoria mecanizada a partir, por una parte, del modelo digital del esbozo y del modelo digital nominal de las tensiones de mecanizado, por otra parte
  - 50 • una etapa de determinación del eje de inercia de dicho modelo digital intermedio
  - al menos una etapa de modificación del sistema de referencia geométrico de dicho modelo digital del esbozo para hacer corresponder dicho eje de inercia de dicho modelo digital intermedio con el eje de rotación nominal del motor en el sistema de referencia diana
  - unas etapas iterativas de cálculo de las dos etapas anteriores hasta que el desvío entre el eje de inercia calculado y el eje nominal del motor sea inferior a un valor umbral
  - 55 • consistiendo la etapa final en controlar un equipo de mecanizado real, en el sistema de referencia diana, a partir del modelo digital nominal de las tensiones de mecanizado sobre el esbozo real colocado sobre el equipo de mecanizado de conformidad con el modelo digital intermedio que resulta de la última iteración.

60 Este procedimiento desemboca en un resultado que privilegia el posicionamiento óptimo de la pieza sobre el equipo de mecanizado limitando al máximo la eliminación de materia, mientras que las soluciones de la técnica anterior se basan sobre un posicionamiento aproximativo y una compensación por una eliminación de materia.

65 Ventajosamente, dicha etapa de modificación del sistema de referencia geométrico consiste en recalcular un vector de traslación  $[Tx, Ty, Tz]$ , así como los tres ángulos de Euler  $[Ax, By, Gz]$  o cualquier otra consigna que utiliza los métodos habituales alternativos como, por ejemplo, los cuaterniones.

Según un modo de realización particular, el procedimiento incluye:

- una etapa de fabricación de una pieza bruta,
- una etapa que consiste en digitalizar esta pieza y obtener el modelo bruto de esta pieza,
- 5 - una etapa de inicialización de un vector de traslación  $[T_x, T_y, T_z]$ , así como de los tres ángulos de Euler  $[A_x, B_y, G_z]$  que corresponden al posicionamiento inicial del modelo digital determinado durante la etapa
- una etapa de cálculo de un modelo virtual por un tratamiento que consiste en desplazar el modelo bruto según la transformación de cuerpo rígido definida anteriormente por el vector  $[T_x, T_y, T_z]$ , así como los ángulos de rotación  $[A_x, B_y, G_z]$
- 10 - una etapa de mecanizado virtual que consiste en aplicar las consignas de mecanizados en forma de datos digitales al modelo virtual reposicionado durante la etapa anterior
- una etapa de cálculo del eje de inercia a partir de la pieza virtual intermedia antes contemplada
- una etapa de comparación del eje de inercia calculado con el eje motor y de modificación durante una etapa de ajuste del vector  $[T_x, T_y, T_z]$ , así como de los ángulos de rotación  $[A_x, B_y, G_z]$  para determinar una nueva
- 15 posición determinada por un vector  $[T_x, T_y, T_z]$  y por los ángulos de Euler  $[A_x, B_y, G_z]$ , optimizados según un método de optimización y de iteración del conjunto de los tratamientos correspondientes a las etapas anteriores.

Según un modo de implementación particular, el procedimiento según la invención incluye unas etapas de cálculo del equilibrado en una porción limitada y, si este equilibrado aparece imperfecto, en determinar una tensión de mecanizado suplementario que viene a añadirse a los mecanizados virtuales originales, para la eliminación de materia con vistas a equilibrar dicha porción local.

Según una variante particular, se procede, después del cálculo del equilibrado local, a unas nuevas iteraciones, que toman en cuenta este modelo con los mecanizados adicionales.

La invención se refiere igualmente a un equipo de mecanizado que comprende un procesador controlado por un control digital obtenido por la implementación del procedimiento antes contemplado.

También se refiere a un programa de ordenador para la implementación de este procedimiento, así como a un soporte informático que incluye un registro de un programa de ordenador para la implementación del procedimiento.

#### Descripción detallada de un ejemplo no limitativo de realización

La presente invención se comprenderá mejor con la lectura de la descripción detallada que sigue, que se refiere a un ejemplo no limitativo de implementación, que hace referencia a los dibujos adjuntos donde:

- las figuras 1 a 5 representan unas vistas esquemáticas de las etapas sucesivas implementadas en la técnica anterior
- las figuras 6 y 7 representan unas vistas esquemáticas de las etapas sucesivas implementadas en el
- 40 procedimiento conforme con la invención
- la figura 8 representa un esquema funcional del tratamiento digital según la invención.

#### Procedimiento según la técnica anterior

45 La solución propuesta en la patente EP1760443 se ilustra por las figuras 1 a 5.

La primera etapa consiste en proceder al establecimiento, por vía digital, al diseño de un cigüeñal de referencia tipo del tipo a obtener sobre la base de los datos de cliente.

50 Estos datos de cliente se ilustran por la figura 1. Estos datos de cliente están constituidos por un modelo digital tridimensional que determina la geometría de referencia del cigüeñal esquematizada por el contorno (1), así como los mecanizados (2 a 5) requeridos.

55 Este modelo digital determina las zonas (2 a 5) de fuerte tensión y las otras zonas que pueden ser objeto de modificación con vistas al equilibrado. Sobre este modelo se determina el eje motor (6) impuesto por la arquitectura del motor al que está destinado este cigüeñal.

60 La siguiente etapa, según esta técnica anterior, consiste en "proceder al establecimiento por vía digital al diseño de un cigüeñal que se analiza a continuación en un sistema de estereovisión por la identificación de una multitud de puntos de imágenes en el espacio de manera que se reconstituya la superficie real en tres dimensiones, que limitan su volumen".

65 Esta etapa se ilustra por la figura 2 que representa la geometría de la pieza bruta, procedente de la fabricación por forjado o fundición (o cualquier otro medio). Esta geometría de la pieza bruta se representa esquemáticamente por el contorno (7), con una indicación del eje de digitalización (8).

A continuación se proponen en la técnica anterior "deducir su eje de inercia de la pieza bruta y comparar por tratamiento digital con su mecanizado virtual con respecto al eje de inercia [calculado en la etapa anterior]".

5 La figura 3 ilustra esta etapa designando el eje de inercia calculado (9) y su posicionamiento con respecto al eje de digitalización (8) y el contorno (7) de la pieza bruta.

10 La siguiente etapa, según la técnica anterior consiste en comparar a continuación, por digitalización, el cigüeñal de referencia con el cigüeñal fabricado y visionado: verificación de su conformidad con respecto a las tolerancias dimensionales, después en proceder, por tratamiento digital, a su mecanizado virtual/eje de inercia calculado anteriormente.

Esta etapa se ilustra por la figura 4.

15 Consiste en calcular una representación digital tridimensional que determina la geometría de la pieza mecanizada virtualmente, representada esquemáticamente por las zonas de mecanizado virtual (12 a 15) y por un contorno (17) que resulta del mecanizado virtual.

20 Esta misma figura 4 representa igualmente el eje de inercia ideal (10) obtenida por la etapa de cálculo del nuevo eje de inercia/nuevo reparto de las masas que resultan del mecanizado. Este eje ideal (10) se utiliza, siempre según la técnica anterior, para la rectificación de los extremos del cigüeñal y perforación de los agujeros de centro (18, 19) que materializan el eje de inercia ideal (10).

25 Este procedimiento de la técnica anterior permite pilotar un equipo de mecanizado alrededor del eje denominado "ideal" (10), materializado por las dos perforaciones (18, 19). La figura 5 ilustra el resultado de este mecanizado mecánico, pilotado por el fichero que resulta del tratamiento según la técnica anterior:

Desemboca en la realización de mecanizados (22 a 25) que resultan que no corresponden perfectamente a las zonas de mecanizado virtual (12 a 15), debido a la diferencia entre:

- 30
- el punto de referencia en el que las zonas de mecanizado virtual (12 a 15) se han calculado
  - el punto de referencia en el que las zonas de mecanizado reales (22 a 25) se han realizado de manera efectiva.

35 De ello resulta, por una parte, un error de posicionamiento de las zonas de mecanizado, lo que es redhibitorio por el hecho de las tolerancias muy escasas aceptables para estas zonas y, por otra parte, un equilibrado aproximado que no corresponde completamente a los objetivos. Estas anomalías son tanto más importantes en cuanto que la pieza bruta original está fuertemente alejada de la geometría nominal. En resumen, el procedimiento de la técnica anterior solo es aplicable para unas piezas brutas originales ya muy cerca de la geometría nominal.

#### 40 Descripción del procedimiento según la invención

El procedimiento según la invención toma en cuenta los mismos datos iniciales que la solución antes contemplada, correspondiente a las figuras 1 y 2.

45 Difiere, en cambio, fundamentalmente por los tratamientos que se efectúan a continuación para preparar el control del equipo de mecanizado mecánico. En particular, el procedimiento según la invención no toma en cuenta un "eje de inercia calculado (9)" ni "su posicionamiento con respecto al eje de digitalización (8) y el contorno (7) de la pieza bruta".

50 Al contrario, el procedimiento según la invención consiste en proceder a un mecanizado virtual en el punto de referencia de mecanizado que comprende el eje motor (6). Todos los tratamientos digitales implementados por la invención se efectúan en este punto de referencia que comprende el eje motor (6) y no en un punto de referencia que comprende un eje de inercia calculado (9).

55 Los tratamientos realizados por la invención son de naturaleza iterativa, sobre la representación digital de la pieza bruta (7) en una posición intermedia.

60 En un primer momento se procede a un tratamiento digital ilustrado por la figura 6, que consiste en calcular una geometría virtual de una pieza intermedia que corresponde a los mecanizados virtuales (2 a 5), estrictamente conformes con los mecanizados requeridos, en el sistema de referencia motor (6), sin ninguna transformación de estos mecanizados.

Este cálculo del mecanizado se efectúa sobre la representación de la pieza bruta (27), cuya geometría corresponde a la de la pieza bruta digitalizada (7) y cuya orientación difiere en el transcurso de las iteraciones.

65 Se procede a continuación al cálculo del eje de inercia (28) a partir de la representación de la pieza bruta (27)

mecanizada virtualmente con las zonas (2 a 5).

En tanto en cuanto que el eje de inercia (28) no corresponde al eje motor (6), se modifica la orientación de la pieza bruta (27) con respecto al eje motor (6), para proceder a una nueva etapa de mecanizado virtual antes contemplado.

5 Estas modificaciones se efectúan de manera coherente para tender hacia una minimización del desvío entre el eje de inercia virtual (28) y el eje motor (6).

Pueden aplicarse diferentes estrategias de minimización.

10 La más sencilla consiste en calcular un gran número de cálculo de eje de inercia (28) de una pieza mecanizada virtualmente sobre una pieza bruta virtual desplazada de manera aleatoria y seleccionar de entre los resultados el que presenta el desvío más escaso entre el eje de inercia calculado (28) y el eje motor (6).

15 Se puede reducir el tiempo de tratamiento utilizando unos métodos de minimización de tipo Newton-Raphson, conocido por el experto en la materia, o cualquier otro método digital similar.

La figura 7 representa el resultado del tratamiento que conduce a un posicionamiento óptimo de la pieza bruta real sobre el equipo de mecanizado, que se pilotará a partir del fichero correspondiente al posicionamiento calculado (28) en su última iteración y la aplicación de las tensiones de mecanizado (2 a 5) que son las tensiones iniciales y no cambiadas.

20 Eventualmente, se efectúan de manera conocida unas etapas posteriores de control de calidad de fabricación y de tolerancias.

25 La figura 8 representa la sucesión de tratamientos físicos y digitales implementados por la invención.

La primera etapa (30) consiste en fabricar, por fundición y forjado, o cualquier otra técnica, una pieza bruta cuya geometría corresponde a la de la pieza diana al máximo de las prestaciones del procedimiento de fabricación. Esta pieza bruta presenta generalmente unas imperfecciones relacionadas con el procedimiento de fabricación.

30 La siguiente etapa (31) consiste en digitalizar esta pieza bruta. Esta digitalización puede realizarse por unos palpadores físicos. Pero para reducir el tiempo de adquisición y aumentar el número de puntos, se conoce y prefiere proceder a una digitalización a partir de una o varias tomas de vistas por unas cámaras digitales, con el fin de construir un modelo digital tridimensional (7).

35 A título de ejemplo, el artículo "Mesure 3D de formes et de déformations par stéréovision" (Jean-José ORTEU) aparecido en la obra "Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique BM 7 015 - 1 et suivantes" describe un método de adquisición 3D por una técnica de moteado.

40 Por otra parte, se dispone de las consignas de mecanizados en forma de datos digitales (32).

A continuación, se inicializa el vector de traslación  $[Tx_i, Ty_i, Tz_i]$ , así como los tres ángulos de Euler  $[Ax_i, By_i, Gz_i]$  que corresponden al posicionamiento inicial del modelo digital (7) determinado durante la etapa (31).

45 A continuación se calcula durante una etapa (33) un modelo virtual por un tratamiento que consiste en desplazar el modelo bruto (7) según la transformación de cuerpo rígido definido por el vector  $[Tx_i, Ty_i, Tz_i]$ , así como los ángulos de rotación  $[Ax_i, By_i, Gz_i]$ .

50 Este modelo virtual se mecaniza a continuación virtualmente durante una etapa (34) que consiste en aplicar las consignas de mecanizados en forma de datos digitales (32) al modelo virtual reposicionado durante la etapa anterior. Este tratamiento puede, por ejemplo, realizarse con una plataforma de tipo CATIA (nombre comercial). El resultado de este tratamiento es un modelo digital tridimensional de una pieza virtual intermedia.

55 La siguiente etapa (35) consiste en calcular el eje de inercia (28) a partir de la pieza virtual intermedia antes contemplada, por ejemplo, con la plataforma CATIA (nombre comercial).

A continuación se procede a una comparación del eje de inercia calculado (28) con el eje motor (6). Si la desviación entre estos dos ejes es inferior a un valor umbral, el procedimiento finaliza.

60 Si no, se modifican entonces durante una etapa (37) el vector  $[Tx, Ty, Tz]$ , así como los ángulos de rotación  $[Ax, By, Gz]$  para determinar una nueva posición determinada por un vector  $[Tx_j, Ty_j, Tz_j]$  y por los ángulos de Euler  $[Ax_j, By_j, Gz_j]$ , optimizados según un método de optimización.

65 A continuación se procede al conjunto de los tratamientos correspondientes a las etapas (33) a (36).

La invención se refiere igualmente a un equipo de mecanizado que comprende un procesador controlado por un fichero obtenido por la implementación del procedimiento según la invención.

5 La invención también puede implementarse para proceder a un equilibrado de una parte solamente de la pieza giratoria. Esta aplicación es útil, en concreto, para el tratamiento de pieza de gran longitud o de piezas que necesitan un equilibrado local, además, de su equilibrado global, por ejemplo, para realizar unos cigüeñales de muy alta prestación.

10 En este caso, la invención consiste en controlar unas eliminaciones de materia locales para obtener un modelo localmente equilibrado. Para ello, se procede sobre el modelo virtual intermedio a un cálculo del equilibrado en una porción limitada. Si este equilibrado aparece imperfecto, se determina una tensión de mecanizado suplementario, para la eliminación de materia con vistas a equilibrar dicha porción local. Este mecanizado suplementario se traducirá en la adición al del modelo de la geometría virtual de una pieza intermedia que corresponde a los mecanizados virtuales (2 a 5), unos mecanizados adicionales. A continuación, se procede a unas nuevas iteraciones, que toman en cuenta este modelo con los mecanizados adicionales.

15

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de equilibrado de una pieza giratoria para producir una pieza giratoria mecanizada y equilibrada, que comprende unas zonas mecanizadas de fuerte tolerancia (rodamientos, cojinetes,...) y unas zonas de escasa tolerancia, mecanizadas o no (superficies brutas,...), a partir de un esbozo (7) de pieza giratoria, por una parte, y de un modelo digital nominal de las tensiones de mecanizado de las zonas mecanizadas de escasas tolerancias (2 a 5) de una pieza giratoria nominal, por otra parte, **caracterizado por que** el procedimiento incluye:
- una etapa inicial de digitalización (31) de dicho esbozo para la obtención de un modelo digital de dicho esbozo, en un sistema de referencia de digitalización predeterminado
  - una etapa (34) de mecanizado virtual de dicho modelo digital del esbozo, para el cálculo de un modelo digital intermedio (27) en el sistema de referencia diana que comprende el eje motor (6) de una pieza giratoria mecanizada a partir, por una parte, del modelo digital del esbozo y del modelo digital nominal de las tensiones de mecanizado, por otra parte
  - una etapa (35) de determinación del eje de inercia (28) de dicho modelo digital intermedio
  - al menos una etapa de modificación (37) del sistema de referencia geométrico de dicho modelo digital del esbozo para hacer corresponder dicho eje de inercia (27) de dicho modelo digital intermedio con el eje de rotación nominal del motor (6) en el sistema de referencia diana
  - unas etapas iterativas de cálculo de las anteriores etapas (33, 34, 35) hasta que el desvío entre el eje de inercia calculado (28) y el eje nominal del motor (6) sea inferior a un valor umbral
  - consistiendo la etapa final en controlar un equipo de mecanizado real, en el sistema de referencia diana, a partir del modelo digital nominal de las tensiones de mecanizado sobre el esbozo real colocado sobre el equipo de mecanizado de conformidad con el modelo digital intermedio que resulta de la última iteración.
2. Procedimiento de equilibrado de una pieza giratoria según la reivindicación 1 **caracterizado por que** dicha etapa de modificación del sistema de referencia geométrico consiste en recalcular un vector de traslación [Tx, Ty, Tz], así como los tres ángulos de Euler [Ax, By, Gz].
3. Procedimiento de equilibrado de una pieza giratoria según la reivindicación 1 **caracterizado por que** incluye una etapa (30) de fabricación de una pieza bruta,
- una etapa (31) que consiste en digitalizar esta pieza bruta,
  - una etapa de inicialización de un vector de traslación [Tx<sub>i</sub>, Ty<sub>i</sub>, Tz<sub>i</sub>], así como de los tres ángulos de Euler [Ax<sub>i</sub>, By<sub>i</sub>, Gz<sub>i</sub>] que corresponden al posicionamiento inicial del modelo digital (7) determinado durante la etapa (31)
  - una etapa de cálculo (33) de un modelo virtual por un tratamiento que consiste en desplazar el modelo bruto (7) según la transformación de cuerpo rígido definido por el vector [Tx<sub>i</sub>, Ty<sub>i</sub>, Tz<sub>i</sub>], así como los ángulos de rotación [Ax<sub>i</sub>, By<sub>i</sub>, Gz<sub>i</sub>]
  - una etapa (34) de mecanizado virtual que consiste en aplicar las consignas de mecanizados en forma de datos digitales (32) al modelo virtual reposicionado durante la etapa anterior
  - una etapa (35) de cálculo del eje de inercia (28) a partir de la pieza virtual intermedia antes contemplada
  - una etapa de comparación (36) del eje de inercia calculado (28) con el eje motor (6) y de modificación durante una etapa (37) del vector [Tx, Ty, Tz], así como de los ángulos de rotación [Ax, By, Gz] para determinar una nueva posición determinada por un vector [Tx<sub>j</sub>, Ty<sub>j</sub>, Tz<sub>j</sub>] y por los ángulos de Euler [Ax<sub>j</sub>, By<sub>j</sub>, Gz<sub>j</sub>], optimizados según un método de optimización y de iteración del conjunto de los tratamientos correspondientes a las etapas (33) a (36).
4. Procedimiento de equilibrado de una pieza giratoria según una al menos de las reivindicaciones anteriores **caracterizado por que** incluye unas etapas de cálculo del equilibrado en una porción limitada y, si este equilibrado aparece imperfecto, en determinar una tensión de mecanizado suplementario que viene a añadirse a los mecanizados virtuales (2 a 5) originales, para la eliminación de materia con vistas a equilibrar dicha porción local.
5. Procedimiento de equilibrado de una pieza giratoria según la reivindicación 4 **caracterizado por que** se procede, después del cálculo del equilibrado local, a unas nuevas iteraciones, que toman en cuenta este modelo con los mecanizados adicionales.
6. Equipo de mecanizado que comprende un procesador configurado para controlarse por un control digital obtenido por la implementación del procedimiento conforme con una al menos de las reivindicaciones anteriores.
7. Programa de ordenador que comprende unas instrucciones de código de programa para la ejecución de las etapas del procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 cuando dicho programa se ejecuta en un ordenador.
8. Soporte de registro legible por un ordenador en el que está registrado un programa de ordenador que comprende unas instrucciones de código de programa para la ejecución de las etapas del procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5.



Fig. 1

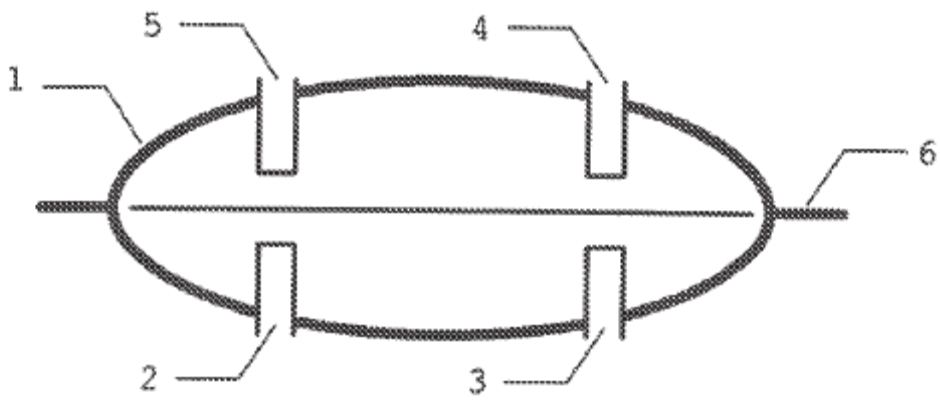
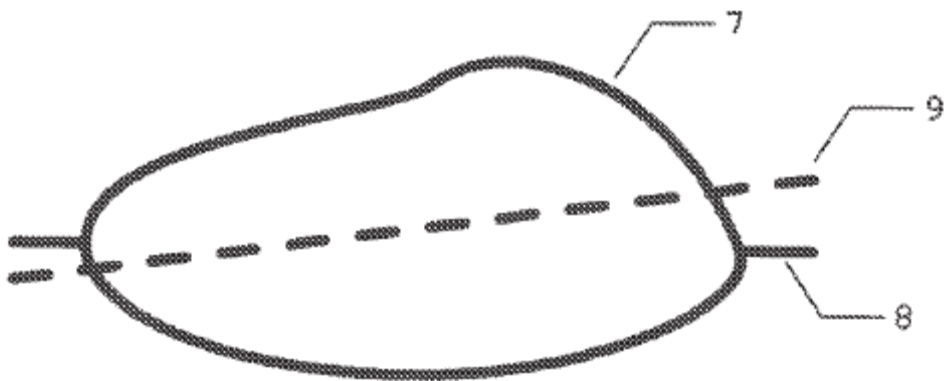


Fig. 2



Fig. 3



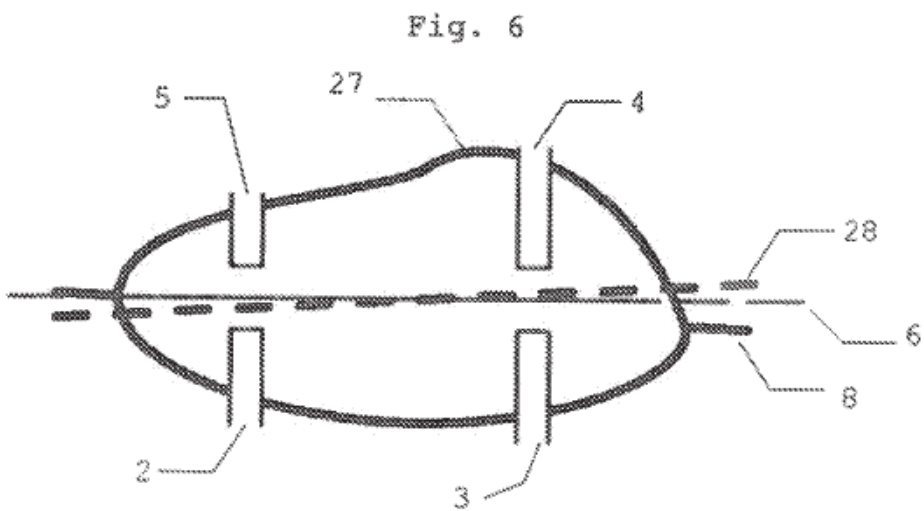
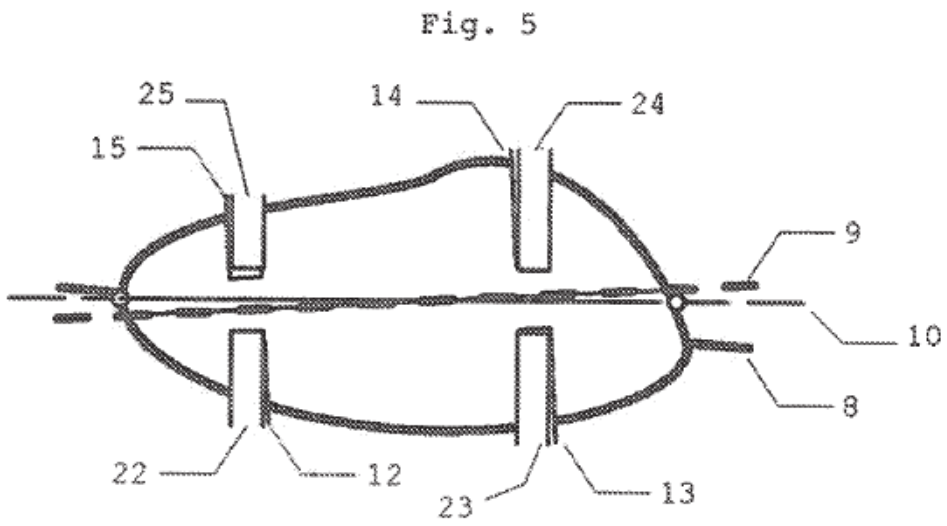
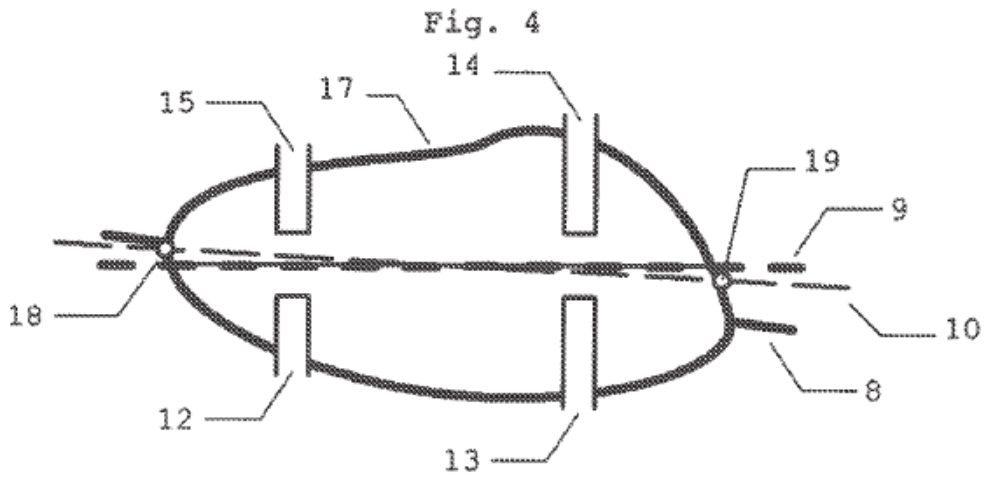


Fig. 7

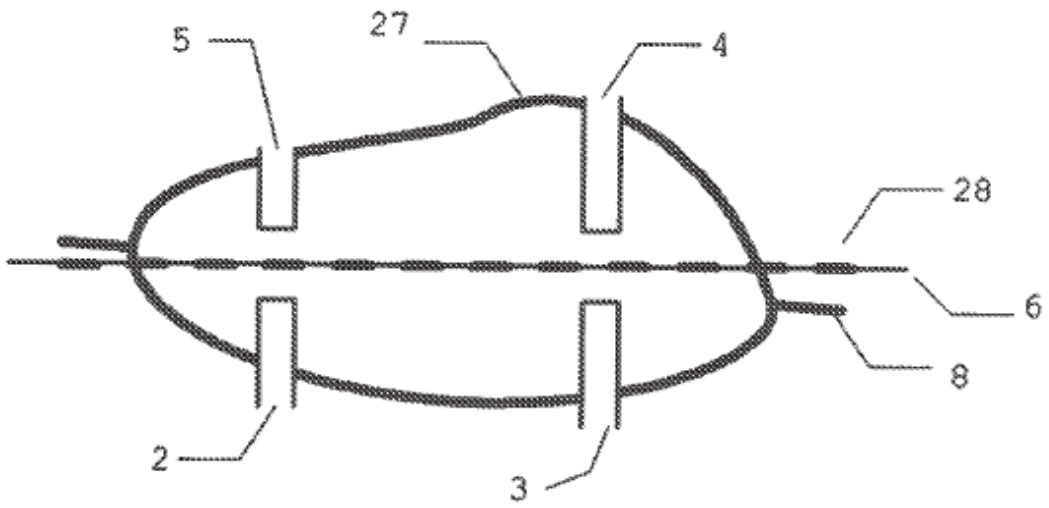


Fig. 8

