

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 606 860**

51 Int. Cl.:

**B23Q 1/36** (2006.01)  
**B23Q 1/54** (2006.01)  
**B24B 19/00** (2006.01)  
**B23Q 1/01** (2006.01)  
**B24B 5/04** (2006.01)  
**B24B 27/04** (2006.01)  
**B23B 5/08** (2006.01)  
**B24B 27/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.12.2010** **E 13184618 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.10.2016** **EP 2684640**

54 Título: **Máquina herramienta y método que utiliza dicha máquina**

30 Prioridad:

**22.12.2009 GB 0922392**

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

**28.03.2017**

73 Titular/es:

**FIVES LANDIS LIMITED (100.0%)**  
**Eastburn Works, Skipton Road Cross Hills**  
**Keighley, BD20 7SD , GB**

72 Inventor/es:

**STOCKER, MARK**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 606 860 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**

Máquina herramienta y método que utiliza dicha máquina.

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a máquinas herramienta y, más concretamente, a la reducción de errores de alineación en dichas herramientas.

Antecedentes de la invención

10 Existen numerosas aplicaciones para máquinas herramienta que requieren el movimiento de dos puntos en el espacio para que sean controlados uno respecto del otro, tanto en posición como en ángulo, en un área o volumen de barrido. Es conveniente minimizar la cantidad de ejes de máquina involucrados para optimizar este control. Asimismo, es conveniente mantener un bucle de rigidez muy ajustado entre los dos puntos y, de manera ideal, un valor de rigidez constante en el bucle a medida que se ajustan la posición y el ángulo de los puntos. Ello mejora el nivel de precisión y repetitividad del movimiento.

15 A menudo, las máquinas herramienta actuales utilizan carriles de guía lineales largos para permitir el contacto entre una herramienta de corte (tal y como una muela) y una pieza de trabajo en cualquier posición a lo largo de la longitud de la pieza de trabajo. Es posible que los carriles largos lleven los carriles de guía más cortos para facilitar el movimiento de una herramienta de corte hacia o desde la pieza de trabajo, en dirección ortogonal a los carriles largos. Estos carriles apilados (o ejes) aportan elasticidad no deseada, lo que reduce la rigidez de la herramienta al componente. A su vez, esto conduce a una calidad reducida del componente, en cuanto a precisión dimensional y acabado. Además, es habitual que los rieles de guía largos requieran tener, como mínimo, una longitud equivalente a la pieza de trabajo que será mecanizada. A menudo, ello resulta en un eje con un índice de apoyo insuficiente en donde el eje alcanza flexibilidad máxima en la dirección de la fuerza de corte. Este problema se agrava cuando un eje de entrada ortogonal se encuentra apilado sobre el eje largo.

20 El uso de ejes apilados también es problemático si se emplean codificadores de posición sobre el eje. Cuanto más alta sea la pila de ejes, mayor será la distancia entre los puntos de interés y los codificadores. Ello se deriva en errores "de compensación de Abbé" que reducen la precisión intrínseca de las máquinas herramienta.

25 Asimismo, el uso de ejes lineales apilados ortogonales requiere una alineación que es costosa y requiere mucho tiempo para mantener la ortogonalidad entre los ejes y minimizar los errores de alabeo, oscilación y balanceo de cada eje.

30 Estos ejes lineales largos también requieren largas cubiertas telescópicas que son costosas, aportan fricción, son propensas a fallos y, además, pueden influenciar la precisión del movimiento lineal (por ejemplo, su rectitud, precisión de posicionamiento y repetibilidad).

La presente invención busca superar los problemas descritos anteriormente que se asocian con el uso de carriles de guía largos y reducir la necesidad de ejes ortogonales apilados.

35 La publicación internacional n° WO2009/093064 (a nombre del presente solicitante) describe una máquina herramienta que comprende una base de máquina, un primer soporte montado sobre un primer eje de máquina de rotación sobre la base, y un segundo soporte montado sobre un segundo eje de máquina de rotación sobre la base. El segundo eje de rotación es paralelo y está separado lateralmente del primer eje de rotación, y lleva un montaje que es móvil con respecto al segundo soporte a lo largo de un primer eje de máquina lineal ortogonal al segundo eje de rotación. Se proporciona una disposición de control que funciona para controlar la orientación del primer soporte sobre el primer eje de rotación, y la orientación del montaje con respecto al segundo eje de rotación y su ubicación a lo largo del eje lineal, de modo que rija la posición y orientación del primer soporte y del montaje uno respecto del otro. Esto se puede lograr sin necesidad de ejes lineales largos ni de un eje lineal apilado, lo que supera los problemas que se asocian con las configuraciones conocidas descritas anteriormente.

Sumario de la invención

45 La presente invención se refiere a una máquina herramienta que comprende:

una base de máquina;

un primer soporte proporcionado sobre un primer eje de máquina de rotación, con el primer eje de rotación montado sobre la base en una posición fija con respecto a la base;

50 un segundo soporte proporcionado sobre un segundo eje de máquina de rotación, con el segundo eje de rotación montado sobre la base en una posición fija con respecto a la base, en donde el eje de rotación del segundo eje de rotación es paralelo y está separado lateralmente del eje de rotación del primer eje de rotación;

un montaje llevado por el segundo soporte y que es móvil con respecto al segundo soporte; y

5 una disposición de control que funciona para controlar la orientación del primer soporte con respecto al eje de rotación del primer eje de rotación, y la orientación del montaje con respecto al eje de rotación del segundo eje de rotación, de modo que rijan la posición y orientación del primer soporte y del montaje uno respecto del otro, según se describe en el documento US-5.231.587.

Según la invención, la base de máquina comprende un soporte central ubicado entre los ejes de máquina, y los ejes de máquina están montados sobre lados enfrentados del soporte.

10 Por lo tanto, las fuerzas generadas como resultado de un eje de máquina de rotación que actúan sobre el otro son resistidas en tensión y en compresión, en lugar de en flexión (como sería el caso con configuraciones de lecho de máquina conocidas). Además, el bucle de rigidez y el bucle térmico permanecen independientes de forma sustancial de las orientaciones de los ejes de máquina.

Preferiblemente, el peso de ambos ejes de máquina es soportado de forma sustancial por el soporte central.

Una máquina herramienta descrita en la presente memoria comprende:

una base de máquina;

15 un primer soporte proporcionado sobre un primer eje de máquina de rotación, con el primer eje de rotación montado sobre la base en una posición fija con respecto a la base;

un segundo soporte proporcionado sobre un segundo eje de máquina de rotación, con el segundo eje de máquina de rotación montado sobre la base en una posición fija con respecto a la base, en donde el eje de rotación del segundo eje de rotación es paralelo y está separado lateralmente del eje de rotación del primer eje de rotación;

20 un montaje llevado por un brazo de soporte sobre el segundo soporte; siendo el brazo de soporte móvil con respecto al segundo soporte alrededor de un eje rotativo; y

25 una disposición de control que funciona para controlar la orientación del primer soporte con respecto al eje de rotación del primer eje de rotación, y la orientación del montaje con respecto al eje de rotación del segundo eje de rotación y su posición de rotación alrededor del eje rotativo, de modo que rijan la posición y orientación del primer soporte y del montaje uno respecto del otro.

30 Esta configuración proporciona beneficios asociados con las realizaciones que se describen en el documento WO2009/093064 que se derivan de proveer dos ejes de máquina de rotación proporcionados a una distancia fija uno del otro. Se diferencia en que el movimiento del montaje con relación al segundo soporte se realiza alrededor de un eje rotativo, estando el montaje separado del eje rotativo mediante un brazo de soporte, en lugar de que el montaje sea móvil con relación al segundo soporte a lo largo de un eje de máquina lineal.

35 Como se describe en el documento WO2009/093064, la combinación de dos ejes de máquina de rotación y un eje de máquina lineal facilita el control versátil de las orientaciones relativas del primer soporte y un montaje sobre el segundo soporte sobre un área de barrido. El componente lineal de movimiento en un plano perpendicular al primer y al segundo eje de rotación se combina ventajosamente con su movimiento de rotación para, por ejemplo, permitir rectificar superficies cilíndricas mediante una máquina de rectificar que comprende este concepto.

40 El autor de la invención ha comprendido que el grado de libertad que ofrece el eje de máquina lineal en realidad podría ser facilitado por un eje rotativo adicional, lo que obviaría la necesidad de un eje lineal para esta función. Con un control apropiado mediante la disposición de control, la rotación del montaje alrededor de su eje puede lograrse mediante el uso de una disposición de accionamiento asociada para proporcionar el componente lineal de movimiento del montaje que se requiere con respecto al primer soporte. La máquina herramienta solo puede emplear estos tres ejes rotativos, lo que facilita el movimiento relativo entre el primer soporte y el montaje, a la vez que reduce la susceptibilidad de errores de alineación.

45 El uso de un tercer eje rotativo en lugar de un eje lineal significa que los tres ejes pueden ser ejes rotativos que se pueden sellar mediante el uso de laberintos que no aportan fuerzas de fricción. Ello se contrapone al protector contra deslizamiento lineal o tapa requerida por un eje lineal. Dichos protectores o tapas tienden a ser pesados, costosos y a aportar fuerzas de fricción no repetibles.

50 Asimismo, es probable que el uso de un tercer eje rotativo signifique que una masa más pequeña se encuentre en movimiento para crear el componente lineal de movimiento deseado. Cuando se emplea un eje lineal, una masa relativamente grande que incluye el carro que se mueve a lo largo del eje se mueve a través del segundo eje de soporte, lo que altera el momento polar de inercia del segundo conjunto de soporte en una mayor medida. A su vez, ello puede requerir que los bucles del servo del eje rotativo se "ajusten" para evitar la inestabilidad del servo en todo el intervalo de las inercias polares.

El término "eje de máquina" ilustra un eje de máquina físico en la presente memoria, en contraposición a un eje de referencia. Cada eje de máquina tiene dos porciones que son accionadas durante el uso para que se muevan una respecto de la otra, alrededor o a lo largo de un eje de referencia, mediante disposiciones de accionamiento asociadas regidas por la disposición de control.

5 Con una muela de rectificar montada sobre el montaje, la invención reivindicada facilita el rectificado en profundidad, cónico, en ángulo y por interpolación sobre la longitud completa de una pieza de trabajo sujeta en el primer soporte. Es especialmente adecuado para rectificar componentes delgados de múltiples características, tales como levas y cigüeñales.

10 El eje longitudinal de una pieza de trabajo montada sobre el otro soporte puede estar separado del eje de rotación del soporte, por ejemplo con la pieza de trabajo cerca de la periferia del soporte, de modo que su longitud total sea fácilmente presentable a una herramienta sobre el soporte. Más concretamente, el eje longitudinal de la pieza de trabajo puede estar ubicado en una orientación ortogonal a una línea radial que se extiende hacia el exterior desde el eje de rotación respectivo.

15 El tercer eje rotativo puede ser ortogonal al eje de rotación del segundo eje de máquina de rotación. De manera alternativa, puede estar en una orientación paralela al eje de rotación del segundo eje de máquina de rotación.

Los soportes pueden ser rotativos de forma independiente alrededor de sus respectivos ejes de rotación. De manera alternativa, pueden estar dispuestos para su rotación de tal manera que el movimiento de rotación de un soporte en una dirección se corresponde sustancialmente con la rotación equivalente del otro soporte, pero en la dirección opuesta.

20 La posición de rotación de los soportes puede ser inmovilizable de forma selectiva con relación a la base de máquina. Por ejemplo, durante una operación de rectificado en profundidad, un solo eje, a saber, el eje rotativo del montaje está "vivo", lo que hace que la rigidez dinámica de la máquina herramienta durante el rectificado sea significativamente mayor que la de una máquina herramienta convencional que emplea únicamente carriles de guía lineales. Cada eje rotativo es inmovilizable, por ejemplo, mediante sujeción del servo, usando un freno, o apagando los cojinetes hidrostáticos o de aire asociados como para rectificar de forma eficaz los ejes respectivos.

25 Los soportes pueden estar apoyados sobre la base de máquina mediante cojinetes rotativos, preferiblemente mediante cojinetes de deslizamiento y de empuje. Los cojinetes de empuje de gran tamaño pueden montarse directamente sobre la base de máquina para proporcionar ejes amortiguados muy rígidos con una muy buena relación de soporte en todas las direcciones, lo que resulta en características de rigidez axisimétricas. Una base de máquina plana y lisa puede ser de fácil construcción para montar sobre ella los dos planos de empuje de eje rotativo.

30 Los tres ejes rotativos pueden emplear componentes comunes, lo que reduce el coste total de la máquina. Por ejemplo, pueden emplear el mismo motor, accionamiento, codificador y/o los mismos componentes de cojinete, o similares.

35 Preferiblemente los cojinetes del primer y segundo eje de rotación y del eje rotativo asociado con el montaje tienen forma de cojinetes hidrostáticos. Los cojinetes lineales suelen tener huecos de cojinete más grandes que los cojinetes rotativos y requieren la utilización de aceite más espeso (más viscoso) para mantener las velocidades de flujo en un nivel aceptable. A los fines prácticos, todos los ejes de máquina (incluido un husillo de rectificar si está presente) utilizan, preferiblemente, el mismo aceite hidrostático. El uso de un aceite más espeso provoca un mayor calentamiento del aceite en un husillo de rectificar de alta velocidad. Esto puede provocar problemas de sobrecalentamiento del husillo. Por lo tanto, se prefiere un aceite menos espeso para los husillos de rectificar. Si los tres ejes de máquina tienen cojinetes hidrostáticos rotativos, entonces todos los cojinetes pueden tener huecos de cojinete más pequeños y utilizar un aceite de menor viscosidad que es beneficioso para el husillo de rectificar.

La rotación de los soportes con respecto a la base de máquina puede ser efectuada por los respectivos motores de accionamiento directo.

45 Preferiblemente, cada soporte incluye un sensor de rotación para proporcionar una señal relacionada con la posición de rotación del soporte respectivo con respecto a la base de máquina. La disposición de control puede recibir las señales de los sensores de rotación y controlar las posiciones de rotación de los soportes. En particular, una disposición de control de este tipo puede configurarse para compensar la inexactitud en el movimiento de estos soportes durante una operación de mecanizado. Esta corrección de errores se puede emplear, por ejemplo, para mantener la veracidad de movimiento relativo entre una herramienta de corte y una pieza de trabajo, en lugar de simplemente confiar en la rectitud de los ejes lineales de una máquina.

50 En una implementación preferida, uno de los soportes lleva un montaje de herramienta, que puede tener forma de un husillo de rectificar o cabezal de muela adaptado para rotar una muela de rectificar montada sobre él, por ejemplo. El cabezal de muela puede ser llevado por el brazo de soporte, y estar orientado de modo que el eje de

rotación de la muela de rectificar sea paralelo al eje rotativo. De forma alternativa, el eje de rotación de la muela de rectificar puede ser ortogonal al eje rotativo.

5 De forma alternativa, o además, un soporte puede llevar una herramienta tal y como una herramienta de torneado, uno o más calibradores, o sensores, tales como un sensor de inspección de herramienta de pulido, por ejemplo. Las combinaciones de herramientas, calibradores, rectificadoras y otros similares se pueden proporcionar en cada soporte y se seleccionan según sea apropiado mediante la rotación del soporte respectivo.

10 Preferiblemente, la línea central del montaje (y/o centro de masa del montaje de herramienta y la herramienta asociada) tiene mayor altura por sobre la base de máquina que la línea central de la pieza de trabajo (y/o su centro de masa). Ello resulta en que las fuerzas ejercidas sobre la pieza de trabajo por una herramienta se dirijan hacia abajo hacia la base de máquina, lo que aumenta la estabilidad de la máquina.

Dos montajes de herramienta pueden ser llevados por uno de los soportes, cada uno de los cuales es móvil con respecto al soporte independientemente del otro. De esta manera, pueden mecanizarse dos características sobre una pieza de trabajo de forma simultánea.

15 Cada montaje de herramienta puede ser llevado por un brazo de soporte respectivo sobre el segundo soporte, siendo cada brazo de soporte independientemente móvil con respecto al segundo soporte alrededor de un eje rotativo respectivo. Cada brazo de soporte puede estar montado sobre un vástago común. Por lo menos uno de los brazos de soporte también puede ser móvil con respecto al soporte a lo largo de un eje lineal de modo que altere la separación de los montajes de herramienta.

20 El otro soporte puede estar dispuesto para soportar una pieza de trabajo alargada con su eje longitudinal en un plano ortogonal a los ejes de rotación de los ejes de máquina de rotación.

Un método para mecanizar una pieza de trabajo mediante el uso de una máquina herramienta según lo definido anteriormente puede comprender las siguientes etapas:

montar una pieza de trabajo sobre uno de los soportes;

25 rotar los soportes para presentar una porción seleccionada de la pieza de trabajo a una herramienta de corte llevada por el otro soporte; y

mecanizar la porción seleccionada de la pieza de trabajo con la herramienta de corte.

De esta manera, se pueden utilizar el primer y el segundo eje de rotación para traer una herramienta de corte a la posición requerida a lo largo de una pieza de trabajo. Estos ejes rotativos pueden luego bloquearse y el tercer eje rotativo emplearse para alimentar una herramienta de corte a la pieza de trabajo.

30 El método también puede incluir las siguientes etapas adicionales:

rotar los soportes en direcciones opuestas y mover la pieza de trabajo y/o la herramienta de corte con respecto al soporte respectivo para acoplar una segunda porción de la pieza de trabajo con la herramienta de corte; y

mecanizar la segunda porción de la pieza de trabajo con la herramienta de corte.

35 Con la sincronización de la rotación de los soportes y del movimiento de la pieza de trabajo y/o la herramienta de corte con respecto al soporte respectivo, una herramienta de corte puede atravesarse a lo largo de una pieza de trabajo alargada, lo que permite la generación de perfiles de componentes complejos.

Otro método para mecanizar una pieza de trabajo mediante el uso de una máquina herramienta según lo definido anteriormente comprende las siguientes etapas:

montar una pieza de trabajo que tiene un eje longitudinal sobre uno de los soportes;

40 rotar el otro soporte de modo que el eje de rotación de una muela de rectificar llevada por el otro soporte no sea paralelo respecto del eje longitudinal de la pieza de trabajo; y

rectificar la pieza de trabajo con la muela de rectificar con el eje de rotación de la muela de rectificar en ángulo respecto del eje longitudinal de la pieza de trabajo.

45 Un método adicional comprende las siguientes etapas:

(a) montar una pieza de trabajo sobre uno de los soportes;

(b) montar una herramienta que tiene un eje de referencia sobre el otro soporte; y

5 (c) mover el primer soporte con respecto al eje de rotación del primer eje de rotación y el montaje con respecto al eje de rotación del segundo eje de rotación y el eje rotativo, de modo que una superficie perfilada o curvada predeterminada se define en la pieza de trabajo, al mismo tiempo que mantiene el eje de referencia de la herramienta perpendicular a dicha superficie.

Un método para calibrar una máquina herramienta según lo definido anteriormente comprende las siguientes etapas:

(a) montar una fuente de luz láser sobre uno de los soportes;

(b) emitir un rayo láser desde la fuente de luz que incide sobre un dispositivo óptico soportado por el otro soporte;

10 (c) vigilar la trayectoria del rayo láser respecto de las posiciones de los soportes según lo medido por los sensores de rotación respectivos;

(d) calcular errores de posicionamiento; y

(e) calibrar la disposición de control de modo que se reduzcan los errores.

15 El dispositivo óptico puede ser un detector, o un reflector para reflejar la luz láser incidente de vuelta hacia un detector montado sobre el otro soporte, por ejemplo. En una implementación preferida, se emplean rayos láser duales y se utiliza interferometría para medir la distancia entre la fuente de luz láser y el dispositivo óptico.

El uso de dos ejes de rotación primarios permite el uso de corrección de errores de software para mantener la posición, la rectitud y el control del movimiento angular entre los dos puntos de interés, en lugar de tener que confiar en la rectitud de los ejes lineales de una máquina. Durante la construcción de la máquina, es posible medir la posición del movimiento lineal interpolado entre los dos puntos y hacer compensaciones de software.

20 Las máquinas herramienta que se describen en la presente memoria tienen una amplia variedad de aplicaciones potenciales en las que la posición y el ángulo de dos puntos uno respecto del otro necesitan controlarse en un área o volumen de barrido. En particular, ello puede ser especialmente beneficioso en el mecanizado, la inspección o el posicionamiento de componentes complejos que requieren control de la posición o del ángulo sobre un área o volumen de barrido. Un ejemplo específico es el torneado con diamante, en donde a menudo es necesario mantener una herramienta de corte en una orientación normal respecto de una superficie que se mecaniza.

Breve descripción de los dibujos

A continuación se describirán las realizaciones de la invención y las configuraciones de máquinas herramienta que resulten útiles para comprender la aplicabilidad de la invención a modo de ejemplo, haciendo referencia a los dibujos esquemáticos que la acompañan, en donde:

30 Las Figuras 1 a 3 son vistas en perspectiva de las máquinas herramienta que se describen en el documento WO2009/093064;

Las Figuras 4 a 9 son vistas en perspectiva de una máquina herramienta para ilustrar su funcionamiento;

Las Figuras 10 y 11 son vistas lateral y en perspectiva, respectivamente, de una máquina herramienta que tiene una muela de rectificar móvil alrededor de un eje rotativo horizontal;

35 La Figura 12 es una vista en perspectiva simplificada de una máquina herramienta de la forma que se muestra en las Figuras 10 y 11;

La Figura 13 es una vista en perspectiva de una máquina herramienta que realiza la invención y que tiene un montaje móvil alrededor de un eje rotativo horizontal;

40 La Figura 14 es una vista en perspectiva de una máquina herramienta en la que una muela de rectificar es móvil con respecto al segundo soporte alrededor de un eje rotativo vertical; y

Las Figuras 15 a 18 son vistas en perspectiva de máquinas herramienta que incluyen dos brazos de soporte que rotan de forma independiente alrededor de un eje rotativo horizontal;

La Figura 19 es una vista en perspectiva de una máquina rectificadora conocida para ilustrar su bucle térmico variable;

45 La Figura 20 es una vista lateral en sección transversal de una máquina herramienta según una realización de la presente invención que incluye un soporte central para los dos ejes de máquina de rotación;

Las Figuras 21 a 26 son vistas en perspectiva de una máquina herramienta de la forma que se muestra en la Figura 13 en orientaciones diferentes; y

5 Las Figuras 27 a 32 se han tomado del documento WO2009/093064 para ilustrar las características y capacidades de las máquinas herramienta allí descritas, que también son aplicables a las máquinas herramienta que aquí se describen.

Debe tenerse en cuenta que las Figuras son esquemáticas únicamente. Los mismos signos de referencia se utilizan, en general, para referirse a características correspondientes o similares en realizaciones modificadas y diferentes.

#### Descripción detallada de los dibujos

10 Las Figuras 1 a 3 son representaciones esquemáticas en perspectiva de las máquinas herramienta que se describen en el documento WO2009/093064. Incluyen una base de máquina 10. El primer y el segundo soporte 100, 102 están montados directamente sobre la base para su rotación alrededor de los ejes de rotación de los respectivos ejes de máquina de rotación, que son perpendiculares al plano de la base de máquina. Su movimiento de rotación se indica mediante las flechas A y B, respectivamente. Los puntos 104 y 106 indican puntos de referencia asociados con cada soporte. Cada punto tiene un eje de referencia 108, 110 que pasa a través de éste.

15 Un montaje 112 es llevado por el segundo soporte 102 y es móvil a lo largo de un eje de máquina lineal. El punto de referencia 104 está sobre el primer soporte, y el punto de referencia 106 está sobre el montaje 112, llevado por el segundo soporte 102. El control de la posición y orientación del primer soporte y del montaje es considerado en la presente memoria con referencia a los puntos 104 y 106 y sus ejes de referencia 108 y 110 asociados.

20 Las representaciones en línea de trazos 100', 102' y 112' del primer soporte, del segundo soporte y del montaje están incluidas en la Figura 1 para mostrar sus diferentes orientaciones después de la rotación alrededor de sus respectivos ejes de máquina de rotación. Ello ilustra el movimiento para alterar el ángulo entre los ejes de referencia 108 y 110.

25 La Figura 2 ilustra el movimiento del montaje 112 a lo largo de su eje lineal a una segunda posición 112' que se muestra con un contorno de líneas punteadas. La flecha C ilustra la dirección del movimiento. Esta capacidad facilita el control de la distancia entre los dos puntos fijos 104 y 106. La combinación de los dos ejes rotativos y de un eje lineal permite el movimiento controlado de los puntos tanto en posición como en ángulo en un área de barrido.

30 La Figura 3 muestra una configuración de máquina herramienta en la que el primer soporte 100 también es móvil a lo largo del eje de máquina lineal F, que es paralelo a su eje de rotación. La posición del soporte que sigue el movimiento a lo largo de este eje se muestra mediante el contorno de líneas punteadas 100'. Esta dimensión adicional de movimiento facilita el control de la posición y orientación del primer soporte y del montaje uno respecto del otro sobre un volumen de barrido.

35 En las máquinas herramienta descritas a continuación, las capacidades de las configuraciones de máquinas herramienta conocidas que se muestran en las Figuras 1 a 3 se pueden lograr proporcionando un montaje sobre un soporte que es móvil con respecto al soporte alrededor de un eje rotativo, y que está separado del eje rotativo mediante un brazo de soporte. Se emplea un componente lineal del movimiento del montaje alrededor de este eje rotativo para lograr el grado lineal de libertad presente en estas disposiciones conocidas.

El uso del eje rotativo para proporcionar un componente horizontal de movimiento para el montaje se ilustra en las Figuras 4 a 9.

40 El primer y el segundo soporte 200, 202 están montados directamente sobre la base de máquina 10 para su rotación alrededor de los ejes de rotación de los respectivos ejes de máquina de rotación que son perpendiculares al plano de la base de máquina. Los puntos 204 y 206 ilustran puntos de referencia asociados con cada soporte. Un eje de referencia 214 pasa a través del punto de referencia 204.

Un brazo de soporte 208 es llevado por el segundo soporte 202 y es móvil con relación al segundo soporte alrededor de un eje rotativo 210.

45 Las Figuras 4 a 6 muestran posiciones sucesivas de los componentes de máquinas herramienta a medida que los puntos de referencia 204 y 206 se mueven sobre la superficie de una pieza de trabajo nociónal representada por una zona de trabajo cúbica 212. A medida que los soportes rotan en direcciones opuestas, se mantiene una separación constante entre los puntos de referencia en la dirección del eje de referencia 214 mediante la rotación del brazo de soporte alrededor del eje 210.

50 Las vistas laterales de las orientaciones de la máquina herramienta que se muestran en las Figuras 4 a 6 se representan en las Figuras 7 a 9. Una línea de referencia 216 marcada en una porción del brazo de soporte 208 que

se extiende a través del soporte 202 destaca los cambios en la posición de rotación del brazo de soporte con relación al soporte.

5 En las Figuras 10 y 11 se muestra una máquina rectificadora. Se proporciona una muela de rectificar 220 con su eje de rotación 222 en una orientación horizontal y separada del eje rotativo horizontal 210 mediante un brazo de soporte (no visible en estas Figuras). Una pieza de trabajo 224 está montada sobre el otro soporte 202 (visible en la Figura 11). La flecha 226 indica el movimiento del eje de la muela de rectificar a lo largo de un arco como resultado de su movimiento con respecto al eje rotativo 210, la rotación alrededor de este eje se identifica mediante la flecha 228.

10 El componente horizontal del movimiento de la muela de rectificar alrededor del eje rotativo 210 logra el mismo movimiento de corrección horizontal que el eje de máquina lineal presente en las máquinas herramienta descritas en el documento WO2009/093064.

15 Preferiblemente, el accionamiento del motor 229 del tercer eje rotativo está montado sobre el segundo soporte 202 con su línea central paralela al eje 222 del cabezal de muela, y en particular con su línea central coincidente con el tercer eje rotativo 210. Un contrapeso 223 es también llevado por el tercer eje rotativo para asistir con el control de la posición del cabezal de muela con respecto a ese eje.

La Figura 12 muestra un modelo de CAD que se utilizó para demostrar la matemática de control necesaria para utilizar el movimiento rotativo alrededor de un eje rotativo horizontal para proporcionar un movimiento correctivo.

20 Al lograr este movimiento correctivo mediante un eje lineal para proporcionar un movimiento en línea recta entre la muela de rectificar y la pieza de trabajo, los datos de corrección lineal permanecen constantes, independientemente del diámetro de la parte que se rectifica o del diámetro de la muela de rectificar. Con una configuración de la máquina de la forma que se muestra en la Figura 12, el movimiento correctivo necesario para mantener el movimiento en línea recta (por ejemplo) cambia con el diámetro de la muela de rectificar y el diámetro de la pieza de trabajo. Los ángulos de eje rotativo calculados mediante el uso del modelo de CAD se muestran en la siguiente tabla:

Parte de 50 mm					
Muela de 400 mm			Muela de 401 mm		
	Ángulo del tercer eje rotativo	Alcance		Ángulo del tercer eje rotativo	Alcance
-250 mm	76,98826862	5,10805431	-250 mm	77,06186038	5,11138475
0 mm	71,88021431		0 mm	71,95047563	
250 mm	76,98826862		250 mm	77,06186038	

Parte de 51 mm					
Muela de 400 mm			Muela de 401 mm		
	Ángulo del tercer eje rotativo	Alcance		Ángulo del tercer eje rotativo	Alcance
-250 mm	77,06186038	5,11138475	-250 mm	77,13546366	5,11471492
0 mm	71,95047563		0 mm	72,02074874	
250 mm	77,06186038		250 mm	77,13546366	

25 Se utilizaron dos diámetros de muela de rectificar (400 mm y 410 mm) y dos diámetros de componentes (50 mm y 51 mm). En la simulación, la muela de rectificar fue forzada de modo que mantuviera su borde de rectificar paralelo a la superficie longitudinal de la pieza de trabajo. Se puede observar que los ángulos de los ejes rotativos necesarios en los dos extremos de los componentes (-250 mm y +250 mm) y en los centros (0 mm) cambian a medida que cambian los diámetros de la muela de rectificar y de los componentes.

30

De este modo, con el conocimiento de los diámetros de la muela de rectificar y de los componentes, el movimiento angular alrededor del tercer eje rotativo se puede calcular para mantener el perfil de movimiento necesario entre la herramienta de corte y la pieza de trabajo.

5 La Figura 13 muestra otra configuración de la máquina herramienta según una realización de la invención. Un brazo de soporte 230 es capaz de pivotar alrededor de un tercer eje rotativo 232 de la forma indicada por la flecha 234. En la disposición representada, un cabezal de muela 236 de rectificar está montado en el extremo distal del brazo de soporte de modo que su eje de rotación es ortogonal al tercer eje rotativo y a la dirección radial con respecto a ese eje que se extiende a lo largo del brazo de soporte. El movimiento de pivote del brazo alrededor del eje 232 resulta en un movimiento del cabezal de muela de rectificar en forma de arco, indicado por la flecha 238.

10 Con el soporte en una orientación generalmente horizontal, el movimiento de su extremo distal alrededor del tercer eje rotativo se produce principalmente en la dirección vertical.

15 Se utiliza una junta flexible 240 para facilitar la rotación del brazo de soporte 230 alrededor del eje rotativo 232 en la configuración que se muestra en la Figura 13, pero se apreciará que podría emplearse cualquier tipo de acoplamiento rotativo, tal y como un cojinete rotativo. La fuerza de accionamiento rotativo puede proporcionarse mediante una amplia gama de opciones, incluidos un motor en el eje, un motor fuera del eje (a través de un accionamiento de correa o de engranaje, por ejemplo), o un accionamiento de leva.

20 El brazo de soporte y la junta flexible están montados para el movimiento a lo largo de un eje lineal 242 llevado por el segundo soporte 202. Ello facilita el movimiento del cabezal de muela de rectificar hacia y desde una pieza de trabajo 244 montada sobre el primer soporte 200. Este movimiento lineal se emplea también para corregir el componente horizontal del movimiento del cabezal de muela alrededor del tercer eje rotativo 232.

25 Según se muestra en la Figura 13, este movimiento alrededor del tercer eje rotativo puede utilizarse para subir y bajar una muela de rectificar orientada con su eje de rotación sustancialmente vertical (es decir, ortogonal al tercer eje rotativo y al brazo de soporte). Puede ser empleado, entonces, para formar un perfil de borde en la pieza de trabajo 244 (tal como una oblea de silicio), por ejemplo, o para mover la muela entre una pieza de trabajo y una muela de rectificar que forma la muela 245 debajo de ésta.

30 Otra máquina rectificadora se representa en la Figura 14. Aquí, un brazo de soporte 250 es capaz de rotar alrededor de un tercer eje rotativo 252. Este eje tiene una orientación vertical, paralela a los ejes de rotación del primer y del segundo eje de rotación de la máquina. El movimiento del brazo de soporte alrededor de este eje en la dirección indicada por la flecha 254 mueve un cabezal de muela de rectificar 256 alrededor del eje en un arco indicado por la flecha 258. Esto sirve para mover una muela de rectificar 260 montada del cabezal de muela de forma horizontal hacia y desde una pieza de trabajo 262 montada sobre el primer soporte 200.

35 Una herramienta (en este caso la muela de rectificar 260) se puede mover a lo largo de una pieza de trabajo 262 alargada mediante la rotación de los respectivos soportes 202, 200, con un componente del movimiento de la herramienta alrededor del tercer eje rotativo 252 en una dirección perpendicular al eje de la pieza de trabajo que sirve para proporcionar un movimiento correctivo.

En la configuración que se muestra en la Figura 14, se puede observar que la altura del montaje en el extremo del brazo de soporte 250 permanece constante durante el funcionamiento de la máquina. Esto significa que no son necesarios los cálculos correctivos que se describen anteriormente en relación con la Figura 12.

40 Además, si el brazo 250 se mueve únicamente unos pocos grados a cada lado de una orientación paralela con el eje de la pieza de trabajo durante un funcionamiento de la máquina, solo hay una desviación de segundo orden desde el movimiento en línea recta deseado perpendicular a ese eje. Por lo tanto, al realizar las operaciones que solo requieren pequeños movimientos perpendiculares a un eje de la pieza de trabajo, una disposición de la forma que se muestra en la Figura 14 emplea un tercer eje rotativo para proporcionar el movimiento cercano a aquel de un eje lineal, mientras que emplea ejes rotativos únicamente.

45 Las Figuras 15 a 18 muestran máquinas herramienta que incluyen dos montajes de herramientas. Cada montaje de herramienta es llevado por un brazo de soporte respectivo 230, 230'. Los montajes de herramienta están dispuestos para llevar respectivas muelas de rectificar a 220, 220', con el movimiento de éstas alrededor del tercer eje rotativo 210 que proporciona una respectiva entrada de rectificar. Ello permite que cada muela de rectificar rectifique un diámetro diferente simultáneamente entre sí.

50 Se proporciona un accionamiento rotativo independiente para cada brazo de soporte junto con un codificador de posición asociado. Por lo tanto, cada muela de rectificar es capaz de funcionar de manera completamente independiente de la otra. Por lo tanto, dos características pueden ser rectificadas al mismo tiempo sobre una pieza de trabajo, que pueden emplearse, por ejemplo, en rectificado de muñequilla orbital.

El brazo de soporte 230 también está montado para su movimiento lineal a lo largo del eje rotativo 210 para permitir la variación en la separación en esta dirección entre los dos brazos de soporte.

La Figura 16 muestra una vista similar a la de la Figura 15, excepto que el brazo de soporte 230 ha sido movido a lo largo y en forma paralela al eje de rotación 210 para estar más cerca del brazo de soporte 230'.

5 En la configuración que se muestra en las Figuras 15 y 16, los dos brazos de soporte están soportados por un vástago de cojinete de deslizamiento. En la realización que se representa en la Figura 17, los dos brazos de soporte 230, 230' están montados sobre vástagos de soporte independientes. El brazo de soporte 230 está montado para su movimiento a lo largo de un eje lineal paralelo al eje rotativo 210, lo que facilita el movimiento en la dirección indicada por la flecha 270. Ello facilita el control de la separación entre los dos brazos de soporte y las herramientas asociadas montadas sobre ellos.

10 Una configuración adicional de dos montajes se muestra en la Figura 18. Una vez más, un par de brazos de soporte 230, 230' están montados para su rotación alrededor de un tercer eje rotativo 210. En lugar de un accionamiento rotativo en el eje para cada brazo de soporte, en la configuración de la Figura 18, se proporcionan respectivas disposiciones de accionamiento lineales 280, 280', que actúan en las direcciones indicadas por las flechas 282, 282'. Cada accionamiento lineal está acoplado a un respectivo montaje 284, 284' a través de respectivos pivotes 286, 286'. El otro extremo de cada accionamiento lineal está acoplado al brazo de soporte correspondiente. El montaje de pivote 284' es móvil a lo largo de un eje lineal paralelo al eje rotativo 210, lo que proporciona movimiento en una dirección indicada por la flecha 288. Ello proporciona el control de la separación entre los brazos de soporte 230, 230' y las herramientas asociadas.

15 Ahora se describirán aspectos adicionales de la presente invención con referencia a una máquina herramienta conocida que se muestra en la Figura 19 y una realización de la invención que se muestra en la Figura 20.

20 Una configuración de la máquina herramienta de rectificar conocida que emplea ejes lineales largos para rectificar una pieza de trabajo 224 alargada se muestra en la Figura 19. Un cabezal de muela 300 de la muela de rectificar se muestra en dos ubicaciones diferentes 300, 300'. Este movimiento será necesario para facilitar el acoplamiento de la muela de rectificar con la longitud completa de la pieza de trabajo.

25 Cada ubicación 300, 300' tiene "bucles térmicos y de rigidez" asociados, indicados esquemáticamente por los óvalos 302, 302' en la Figura 19. Es bien sabido en este campo que el bucle de rigidez es el camino más corto a través de los componentes mecánicos y la estructura de la máquina entre la herramienta de corte y el componente. Cuanto más corto es el camino, más rígida será la máquina. El bucle térmico es el camino más corto a través de los componentes mecánicos y la estructura de la máquina entre la herramienta de corte y el componente. Cuanto más corto sea el camino, menos susceptible a distorsiones térmicas será la máquina.

30 Se puede observar que las ubicaciones de los bucles térmicos 302, 302' son bastante diferentes. Si el rectificado se inicia en posición 300, dará lugar a un aumento de la temperatura en esta región de la máquina respecto del resto, por lo que a medida que el cabezal de muela de rectificar se mueve a posición 300', se encontrará con un gradiente de temperatura y variaciones de alineación asociadas.

35 Un movimiento típico de "garganta" durante un ciclo térmico de esta máquina podría ser de 0,25 mm. La garganta es la sección de la base de máquina que conecta el montaje de la muela de rectificar con el montaje del componente. Es el área en la que se acumulan las virutas del rectificado y el refrigerante durante el proceso de rectificado. Las virutas de pulido y el refrigerante tienden a calentar el material de la garganta debajo de la zona de rectificado. La región de la garganta que se calienta cambia, en función de la posición axial a lo largo de los componentes que se rectifican. En la región de la garganta que se calienta, el material se expande, lo que hace que se abra la región de la garganta. Con el tiempo, la garganta se calienta en su totalidad, lo que hace que se abra. Esto puede hacer que la posición de la muela de rectificar se aleje del componente. El error de movimiento será el máximo allí donde la garganta esté más caliente. Como no hay una medición directa de la posición entre la muela de rectificar y el componente, no hay un sistema de retroalimentación que permita compensar los errores causados por la apertura de la garganta.

40 Una máquina herramienta que tiene dos ejes de máquina de rotación paralelos como se describe en la presente memoria se muestra en la Figura 20. Un bucle térmico/de rigidez 310 asociado está marcado en el dibujo. A medida que los ejes son rotados para presentar diferentes partes de una pieza de trabajo 224 a una máquina herramienta llevada por el soporte 202, el bucle térmico 310 permanece sustancialmente sin cambios, lo que evita las imprecisiones derivadas de un bucle térmico variable. Según la presente invención, se proporciona un soporte central 320 entre los ejes de máquina de rotación 322 y 324.

45 Con una configuración de lecho de máquina horizontal típica, los ejes se soportan desde abajo. En la disposición de la Figura 20, cada uno de los ejes de máquina de rotación está montado sobre un lado respectivo del soporte 320. Cada eje de máquina está acoplado al lado adyacente del soporte mediante un montaje 326, 328, que se extiende de forma horizontal entre el eje respectivo y el soporte. Así, el soporte central o losa lleva el peso de cada eje de

5 máquina a cualquiera de los dos lados. En consecuencia, las fuerzas que se generan durante el funcionamiento de la máquina herramienta actúan a través de los ejes de máquina en direcciones opuestas sobre el soporte central 320. Así, el soporte resiste dichas fuerzas en un estado de tensión o compresión, en lugar que en flexión, como sería el caso con un lecho de máquina conocido. Esto resulta en un bucle de rigidez sustancialmente constante (y potencialmente más rígido) en la máquina herramienta independientemente de las orientaciones del soporte 200, 202. Ello sirve para reducir errores adicionales durante el funcionamiento de la máquina.

10 Una ventaja asociada con la configuración de la máquina de la Figura 13 se describirá ahora con referencia a las Figuras 21 a 26. Las Figuras 21 a 23 muestran las posiciones sucesivas de la máquina herramienta cuando se emplea para rectificar un lado de un baldosín rectangular 244 a modo de ejemplo. En las Figuras 21 a 23, el cabezal 236 de muela de rectificar se mueve únicamente a lo largo del eje lineal 242, y la posición rotativa del soporte 202 alrededor del eje de rotación del respectivo eje de máquina de rotación 324 permanece sin cambios.

15 Al considerar la línea de referencia 340 marcada sobre la muela de rectificar 342, se puede ver que el punto de contacto entre la muela y el baldosín cambia continuamente a medida que la muela se mueve a lo largo del lado del baldosín. Así, no es posible colocar boquillas de refrigerante de modo que proporcionen una refrigeración y un lavado óptimos durante el rectificado completo del baldosín. Se requiere un montaje de la boquilla de refrigerante articulado que sea capaz de realizar el seguimiento del punto de contacto.

20 En contraste, en las Figuras 24 a 26, el movimiento rotativo mediante el montaje del cabezal de muela de la muela de rectificar se produce mediante el eje de rotación 324. En consecuencia, se puede ver que el punto de contacto entre la muela 342 y la pieza de trabajo 244 es constante y siempre está al final de la línea de referencia 340. Ello facilita el mantenimiento de las condiciones óptimas de aplicación de refrigerante en todas las partes de la operación de rectificado, ya que la ubicación óptima de la boquilla de refrigerante está fija con respecto al brazo de soporte 230.

25 Las Figuras 27 a 32 fueron tomadas del documento WO2009/093064. Ilustran las capacidades de la máquina herramienta descrita en dicho documento, que se pueden alcanzar mediante el uso de su configuración de dos ejes de máquina de rotación paralelos, con un eje lineal montado sobre uno de los ejes de rotación. Se apreciará que el componente de movimiento proporcionado por el eje lineal en las configuraciones ilustradas se puede proporcionar de acuerdo con máquinas herramienta que se describen en la presente memoria mediante un tercer eje rotativo. Por lo tanto, una descripción de estas Figuras se incluye a continuación.

30 En la máquina herramienta representada en la Figura 27, el eje de máquina lineal está montado sobre un eje rotativo. Esto permite que los soportes 100, 102 y el montaje 112 estén orientados de modo que los ejes de referencia 108, 110 sean paralelos antes del movimiento del punto de referencia 106 a lo largo del saliente de la pieza de trabajo. Este movimiento se consigue, entonces, mediante el movimiento del montaje 112 a lo largo de su eje de máquina lineal solamente.

35 El movimiento respecto de los tres ejes de la máquina se puede interpolar para permitir el acceso mediante el punto de referencia 106 a la longitud de la pieza de trabajo alargada 128.

La Figura 28 muestra el punto de referencia 106 que define una superficie esférica 140 equidistante del punto de referencia 104, a la vez que mantiene su eje de referencia 110 en una orientación "normal de herramienta" perpendicular respecto de esa superficie.

40 El mantenimiento de "normal de herramienta" es un requisito común para un torneado con diamante exitoso de componentes de alta precisión. A menudo es esencial (para mantener la geometría del componente y las condiciones de corte constantes) que el mismo punto sobre la herramienta permanezca en contacto en todo momento con el componente que se mecaniza.

45 La Figura 29 ilustra cómo el ajuste de las orientaciones de rotación relativas del soporte 22 de la herramienta y el soporte 20 de la pieza de trabajo se pueden utilizar para crear un ángulo entre el eje de rotación 50 de una muela de rectificar 36 y el eje longitudinal 52 de una pieza de trabajo 24, para facilitar la formación de un perfil afilado sobre la pieza de trabajo. Este principio también puede ser utilizado para generar otros perfiles o formas, tales como perfiles de corona en los cojinetes de rodillo.

La Figura 30 ilustra cómo se puede emplear una muela de rectificar 60 preformada mediante el uso de una máquina herramienta que realiza la invención para formar perfiles predeterminados sobre una pieza de trabajo 24.

50 La base de máquina puede estar hecha de granito, hierro fundido u hormigón polimérico, por ejemplo y su fabricación puede ser relativamente poco costosa en comparación con una base para una máquina herramienta existente que emplea ejes lineales largos.

Durante la construcción de una máquina herramienta de acuerdo con la invención, la precisión del movimiento lineal interpolado entre una herramienta de corte y una pieza de trabajo se puede medir y se puede calcular cualquier

compensación necesaria. Esta compensación se puede incorporar en las instrucciones que gobiernan el funcionamiento del controlador de la máquina herramienta, por ejemplo en software.

La calibración láser se puede emplear respecto del ángulo, la posición lineal y la rectitud, lo que permite la corrección de errores de movimiento respecto de los ejes rotativo y lineal.

- 5 Las Figuras 31 y 32 muestran cómo la máquina puede calibrarse por láser. Una fuente de luz 70 está montada sobre el cabezal 26 que genera dos rayos láser paralelos 72, 74 que son incidentes sobre un detector 76 llevado por el soporte 22 de la herramienta.

10 Al mover los dos ejes de rotación y el eje lineal, es posible (mediante el uso de diversos conjuntos de óptica láser) medir los errores de rectitud, posición y ángulo y hacer la corrección para compensar los errores. Los procedimientos de corrección variarán en función de los requisitos principales para cualquier pieza de trabajo dada (por ejemplo, paralelismo, diámetro o posición axial de la característica que se mecaniza).

El procedimiento de calibración puede incluir las siguientes etapas:

I. Utilización de una óptica de medición de errores angulares:

15 i. Rotar los dos ejes, vinculando el eje secundario (por ejemplo, el eje de soporte de la herramienta) con el eje primario (por ejemplo, el eje de soporte del cabezal de trabajo) en todo el rango de movimiento necesario para mecanizar el componente más largo. El eje lineal también estará vinculado con el eje primario para mantener una posición constante del rayo láser en la óptica de medición.

ii. Los errores angulares afectarán a:

- 20 1. El diámetro de la característica que se mecaniza;  
2. El paralelismo de la característica que se mecaniza;  
3. La posición axial de la característica que se mecaniza;

iii. Cualquier error angular medido puede ser compensado mediante la modificación del movimiento del eje secundario respecto del eje primario.

25 iv. Este procedimiento minimizará los errores del eje rotativo (de cada codificador) y cualquier error rotativo adicional, por ejemplo, de errores de inclinación del eje del cojinete y el error de oscilación del eje lineal.

II. Utilización de la óptica de medición de la posición lineal:

i. Repetir el procedimiento de movimiento correspondiente a (I).

ii. Los errores de posición lineal afectarán la posición axial de la característica que se mecaniza;

30 iii. Si la posición axial de una característica tiene mayor prioridad que el paralelismo de la característica que se mecaniza, entonces, los errores de posición medidos pueden ser compensados (mediante el uso del eje rotativo secundario). Esto se añadirá ligeramente a los errores de posición angular que se minimizaron durante el procedimiento I.

35 1. El error angular adicional podría ser relativamente insignificante. Por ejemplo, para corregir un error de posición axial de 3 micrómetros se requiere (aproximadamente) una corrección angular de 1 segundo de arco. 1 segundo de arco sobre una característica de 50 mm de largo daría lugar a una conicidad de 0,25 micrómetros.

III. Utilización de la óptica de medición de rectitud para determinar los errores de rectitud horizontal:

i. Repetir el procedimiento de movimiento.

ii. Los errores de rectitud lineal afectarán el diámetro de la característica que se mecaniza;

40 iii. Los errores de rectitud horizontal medidos se pueden compensar directamente mediante el uso del eje lineal.

Estos procedimientos permiten la corrección de errores de movimiento sin la necesidad de alinear ejes ortogonales, un beneficio clave de este diseño de la máquina.

- 5 Preferiblemente, la posición de rotación de cada eje de rotación se supervisa mediante el uso de respectivos sensores de rotación independientes de los utilizados durante el funcionamiento normal de la máquina herramienta. Por lo tanto, estos sensores de calibración dedicados facilitan la calibración de forma independiente de los sensores normales. El proceso de calibración puede, entonces, medir y permitir la corrección de errores de movimiento de la máquina causados por los sensores de control de funcionamiento.
- 10 Si la posición axial de las características mecanizadas es particularmente difícil, puede emplearse un codificador lineal (tal como un interferómetro láser montado entre los dos ejes rotativos) como un codificador secundario para minimizar los errores de posición lineales causados por errores del codificador rotativo.
- 15 Esto se puede conseguir mediante la aplicación de principios similares a aquellos empleados en los procedimientos de calibración descritos anteriormente.
- Las máquinas herramienta que se describen en la presente memoria pueden utilizar codificadores rotativos para sincronizar el movimiento entre dos ejes rotativos. Puede ser posible mantener un error de posición absoluta de alrededor 1 segundo de arco entre los dos ejes. Un error de posición rotativa produce un error lineal en un radio dado de aproximadamente 5 micrómetros (de error lineal) por metro (de radio) por segundo de arco (de error). Para un componente de aproximadamente 1500 mm de longitud, el radio desde el centro del eje rotativo al extremo del componente puede ser de aproximadamente 900 mm, por ejemplo. Ello resulta en un error de posición lineal (en la dirección axial del componente) de aproximadamente 3 micrómetros por segundo de arco de error.
- 20 En la mayoría de los casos esto será aceptable. Sin embargo, para requisitos extremadamente exigentes (por ejemplo, que requieren no más de 1 micrómetro de error lineal) puede ser preferible hacer una medición directa en línea de errores lineales (en lugar de una medición lineal que se infiere a partir de un codificador rotativo).
- 25 Un ejemplo de un codificador láser lineal de largo alcance es un RLE10, según lo comercializa Renishaw (RTM). Un codificador de este tipo se podría utilizar para proporcionar retroalimentación de posición lineal a medida que los dos ejes rotativos se mueven uno respecto del otro. Por lo tanto, los errores de posición axial resultantes entre la herramienta de corte y el componente de los errores del codificador rotativo se pueden medir directamente como errores de posición lineal.
- La configuración del codificador lineal sería similar a aquella mostrada anteriormente en las Figuras 31 y 32 para el procedimiento de calibración de la máquina. Sin embargo, el láser y el objetivo del codificador requerirían encerrarse en una cubierta (que no se muestra en las Figuras), lejos (probablemente por debajo) de la posición de contacto del mecanizado.
- 30 Las señales de salida de los sensores empleados durante el procedimiento de calibración son alimentadas a la disposición de control de la máquina o a una disposición de procesamiento de calibración dedicada. Las señales de los sensores se procesan para identificar cualesquier corrección que deba aplicarse a la configuración de control de la máquina herramienta para minimizar cualquier error de posicionamiento detectado.
- 35 Mientras que las máquinas herramienta y las configuraciones que se describen con referencia a los dibujos son máquinas de rectificado, se apreciará que una amplia gama de operaciones relacionadas con el mecanizado pueden implementarse de acuerdo con la invención. Además de las operaciones de rectificado, otras aplicaciones son viraje o pulido, por ejemplo, e inspección de los componentes mecanizados.
- 40 Se apreciará que las referencias en esta memoria a orientaciones relativas ortogonales o paralelas y orientaciones similares deben interpretarse como que definen las relaciones sustancialmente ortogonales o paralelas entre los componentes dentro de las tolerancias prácticas.

**REIVINDICACIONES**

1. Una máquina herramienta que comprende:
- 5 una base de máquina;
- un primer soporte (200) proporcionado sobre un primer eje de máquina de rotación (322), con el primer eje de rotación montado sobre la base en una posición fija con respecto a la base;
- un segundo soporte (202) previsto en un segundo eje de máquina de rotación (324), con el segundo eje de máquina de rotación montado sobre la base en una posición fija con respecto a la base, en donde el eje de rotación del
- 10 segundo eje de rotación es paralelo y está separado lateralmente del eje de rotación del primer eje de rotación;
- un montaje llevado por el segundo soporte y que es móvil con respecto al segundo soporte; y
- una disposición de control que funciona para controlar la orientación del primer soporte (200) con respecto al eje de rotación del primer eje de rotación (322), y la orientación del montaje con relación al eje de rotación del segundo eje de rotación (324), de modo que rijas la posición y orientación del primer soporte y del montaje uno respecto del otro,
- 15 caracterizado por que la base de máquina comprende un soporte central (320) ubicado entre los ejes de máquina (322, 324), y los ejes de máquina están montados sobre lados enfrentados del soporte.
2. Una máquina herramienta de la reivindicación 1, en donde el peso de ambos ejes de máquina (322, 324) se encuentra soportado, de forma sustancial, mediante el soporte central (320).
3. Una máquina herramienta de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde el montaje es llevado por un brazo de soporte (208,230,250) sobre el segundo soporte (202), el brazo de soporte siendo móvil respecto del segundo soporte alrededor de un eje rotativo (210,232,252), y la disposición de control funciona para controlar la posición de rotación del montaje alrededor del eje rotativo.
- 20 4. Una máquina herramienta de cualquier reivindicación anterior, en donde:
- el montaje es llevado por un brazo de soporte (208,230,250) sobre el segundo soporte (202), el brazo de soporte siendo móvil respecto del segundo soporte alrededor de un eje rotativo (210,232,252); y
- 25 la disposición de control también funciona para controlar la posición de rotación del montaje alrededor del eje rotativo, de modo que rijas la posición y orientación del primer soporte (200) y del montaje uno respecto del otro.
5. Una máquina herramienta de la reivindicación 4, en donde el eje rotativo (210,232) es ortogonal al eje de rotación del segundo eje de máquina de rotación (324).
- 30 6. Una máquina herramienta de la reivindicación 4, en donde el eje rotativo (252) es paralelo al eje de rotación del segundo eje de máquina de rotación (324).
7. Una máquina herramienta de cualquier reivindicación anterior, en donde los soportes (200,202) son rotativos de forma independiente alrededor de sus respectivos ejes de máquina de rotación (322,324).
8. Una máquina herramienta de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde los soportes (200,202) están dispuestos para rotación sobre sus respectivos ejes de máquina de rotación (322,324) de modo que el movimiento de rotación de un soporte en una dirección se corresponde sustancialmente con la rotación del otro soporte, pero en la dirección opuesta.
- 35 9. Una máquina herramienta de cualquier reivindicación anterior, en donde las posiciones de rotación de los soportes (200,202) son inmovilizables en forma selectiva con respecto a la base de máquina.
- 40 10. Una máquina herramienta de cualquier reivindicación anterior, en donde los soportes (200,202) se soportan sobre la base de máquina a través de cojinetes de deslizamiento y de empuje.
11. Una máquina herramienta de cualquier reivindicación anterior, en donde los soportes (200,202) son capaces de rotar respecto de la base de máquina por motores de accionamiento directo respectivos.
- 45 12. Una máquina herramienta de cualquier reivindicación anterior, en donde cada soporte (200,202) incluye un sensor de rotación para proporcionar una señal relacionada con la posición de rotación del soporte respectivo con respecto a la base de máquina, y la disposición de control funciona para recibir las señales desde los sensores de rotación, y para compensar la imprecisión en el movimiento de los soportes durante una operación de mecanizado.

13. Una máquina herramienta de cualquier reivindicación anterior, en donde el movimiento del brazo de soporte (208,230,250) con respecto al segundo soporte (202) alrededor del eje rotativo (210,232,252) es proporcionado por un cojinete rotativo.
- 5 14. Una máquina herramienta de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en donde el movimiento del brazo de soporte (230) con respecto al segundo soporte (202) alrededor del eje rotativo (232) es proporcionado por una junta flexible (240).
15. Una máquina herramienta de la reivindicación 14, en donde la junta flexible (240) es móvil respecto de la base a lo largo del eje lineal (242) paralelo a la base.

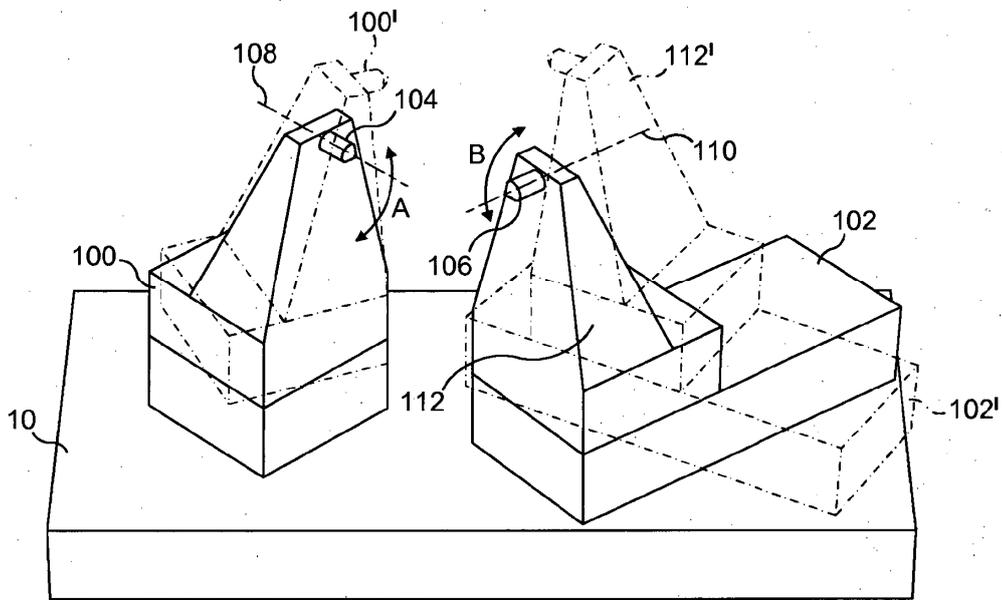


FIG. 1

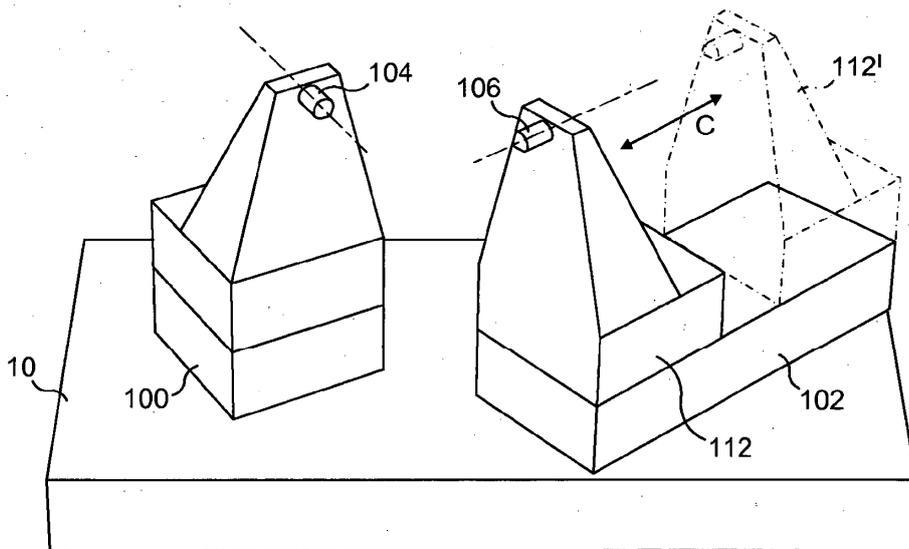


FIG. 2

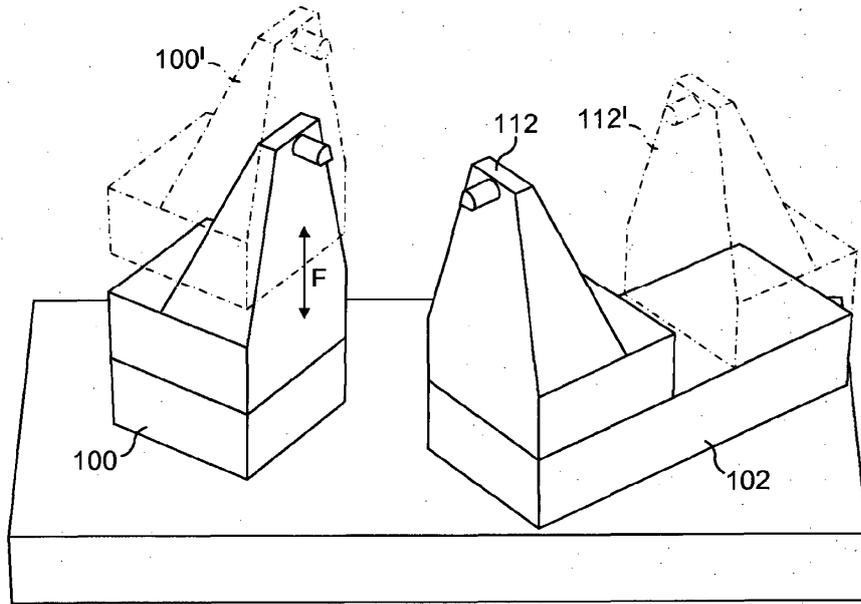


FIG. 3

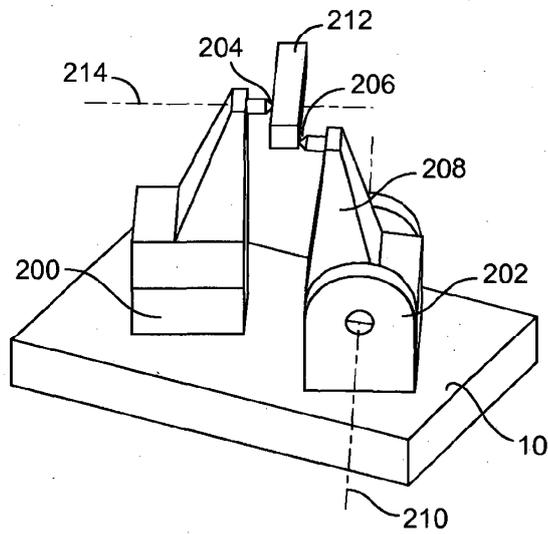


FIG. 4

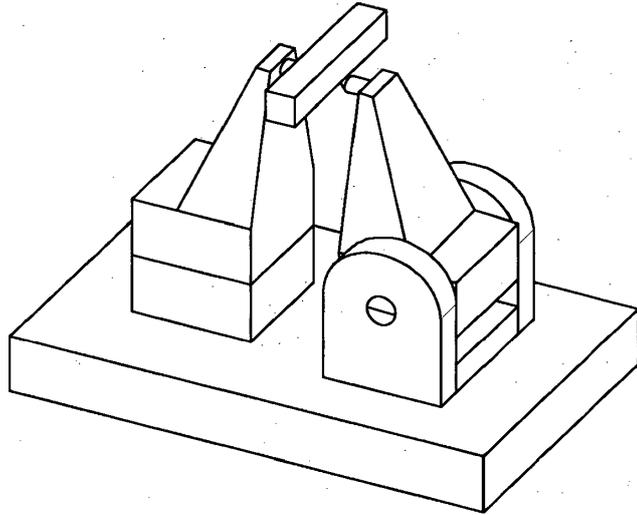


FIG. 5

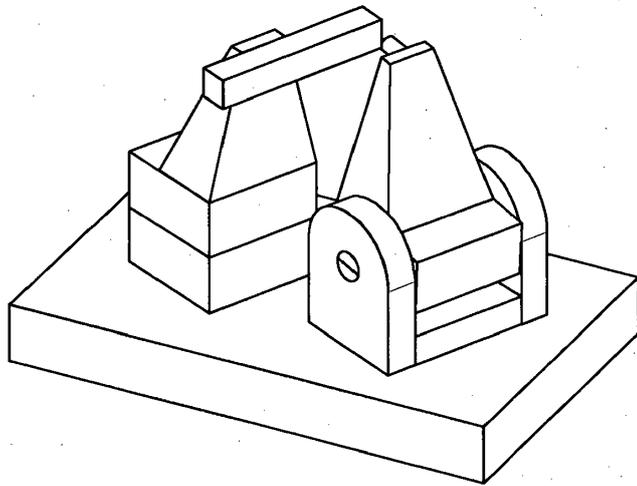


FIG. 6

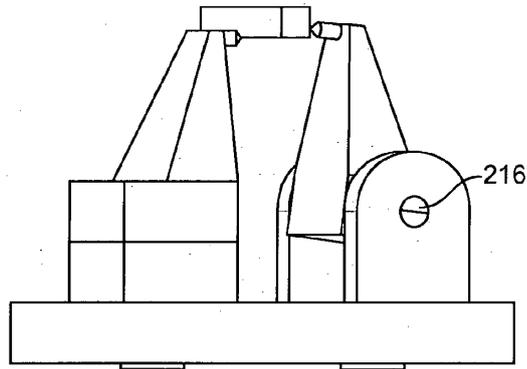


FIG. 7

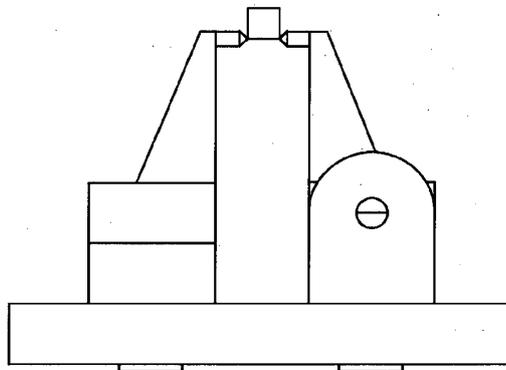


FIG. 8

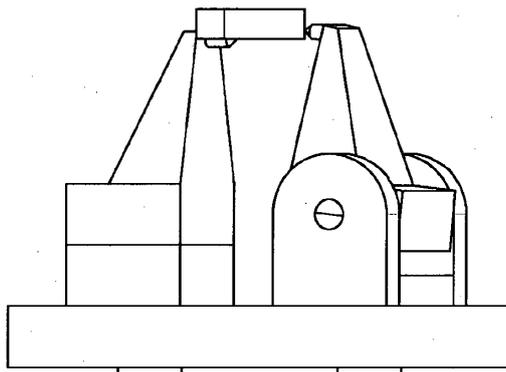


FIG. 9

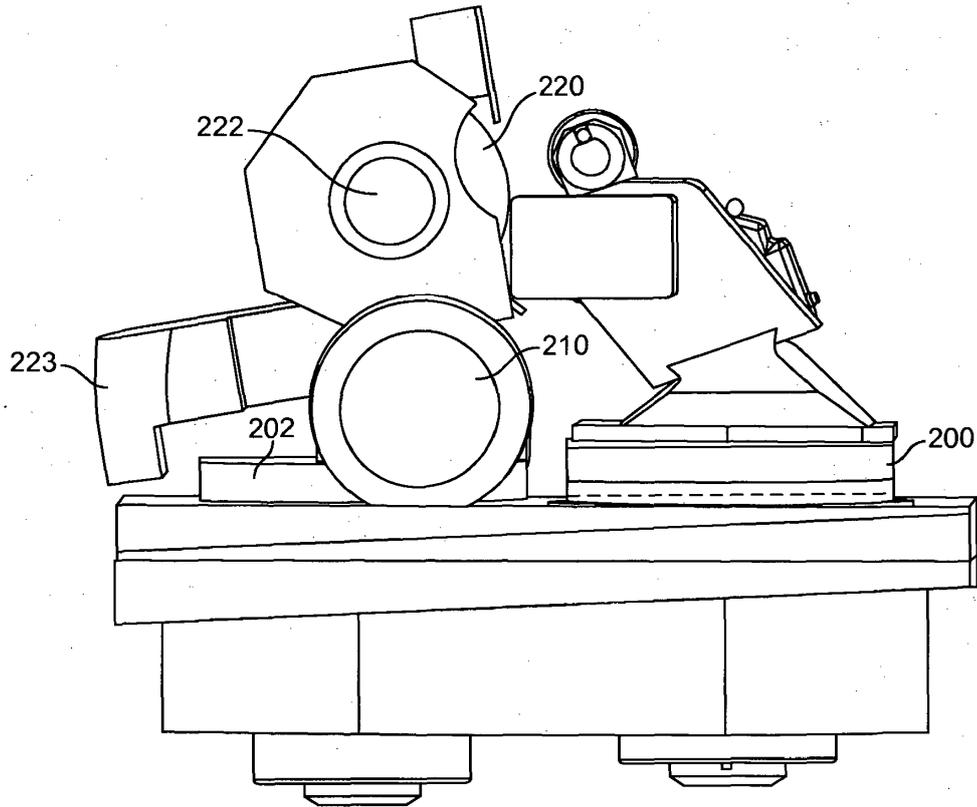


FIG. 10

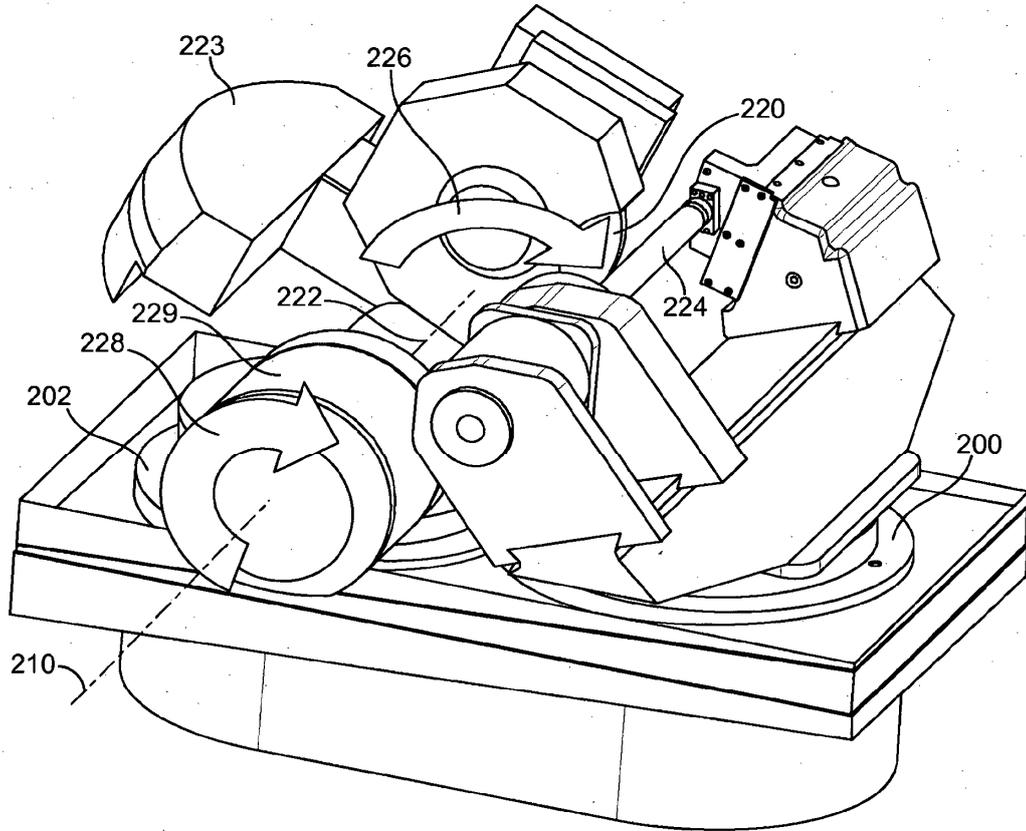


FIG. 11

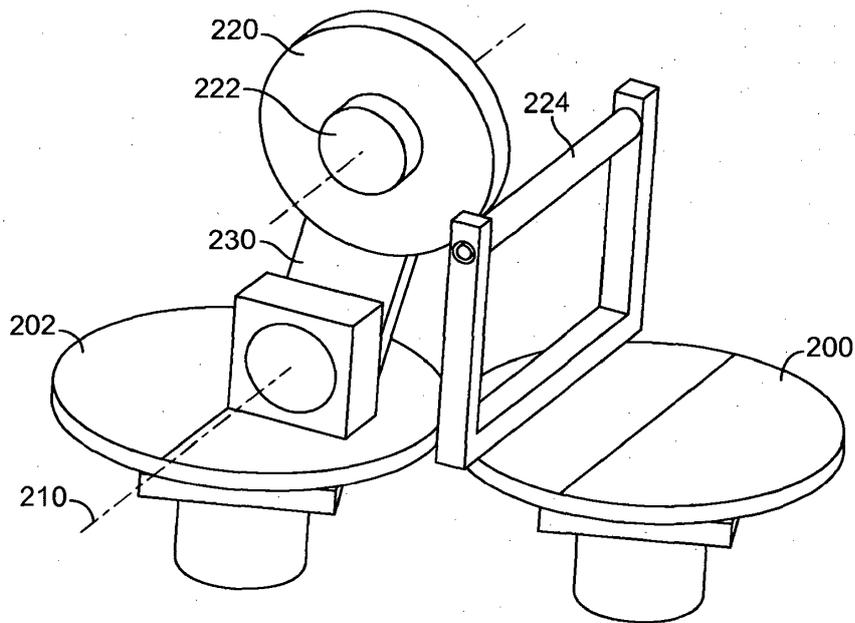


FIG. 12

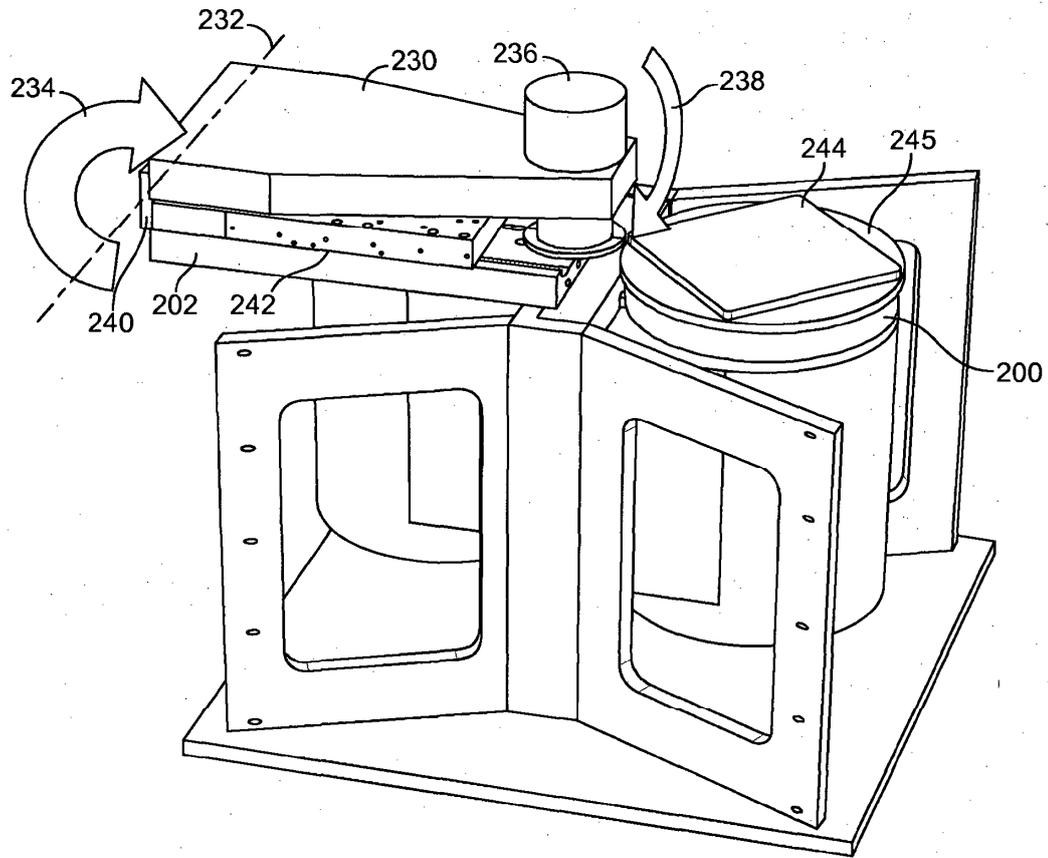


FIG. 13

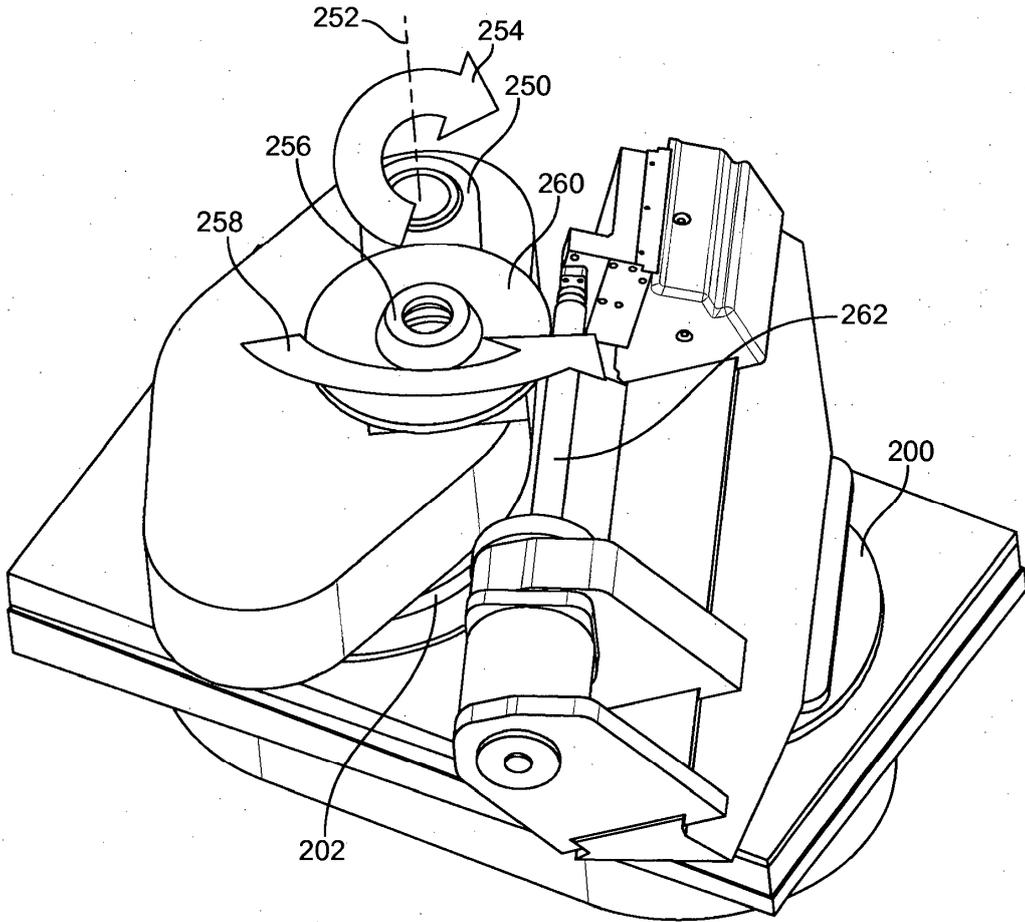


FIG. 14

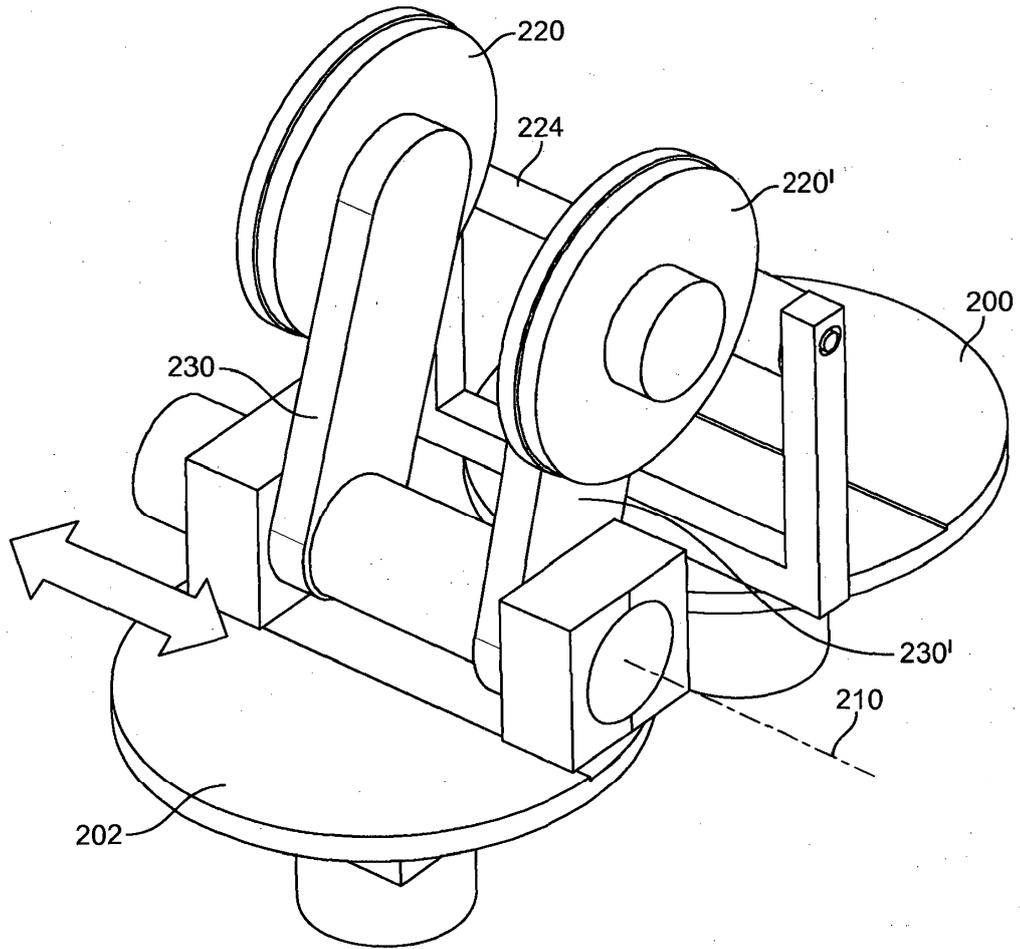


FIG. 15

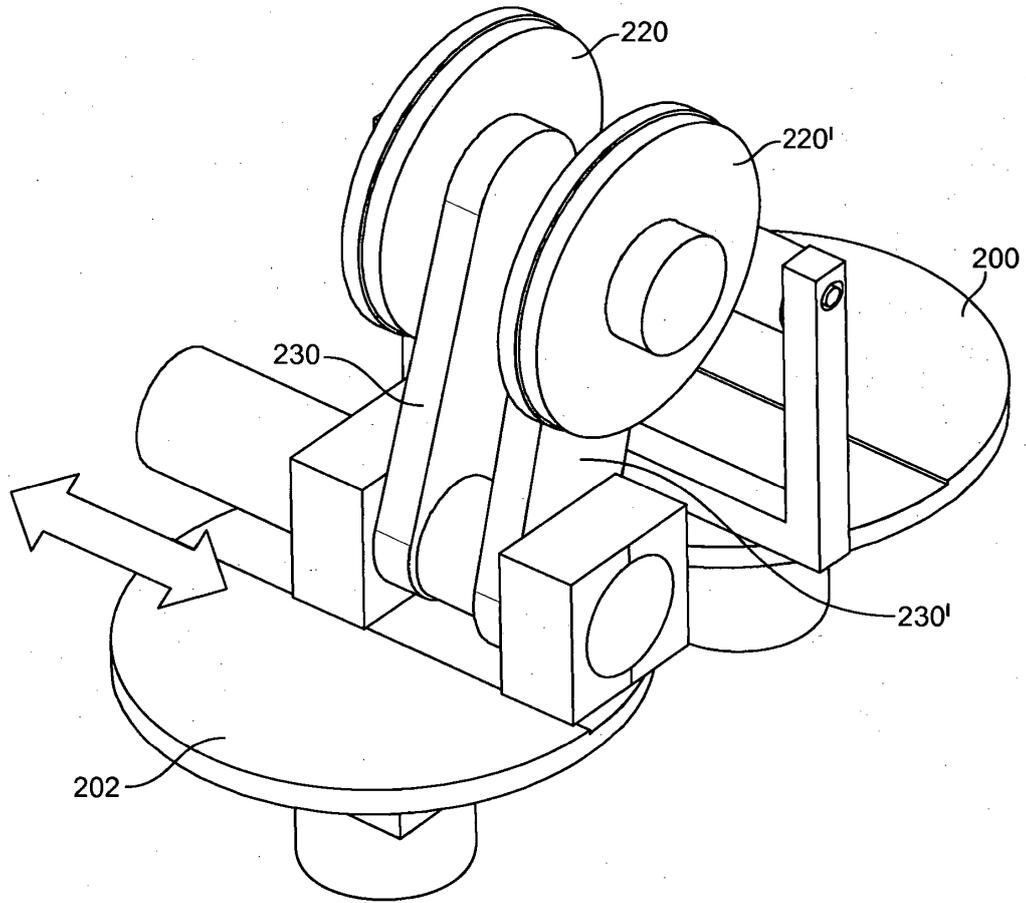


FIG. 16

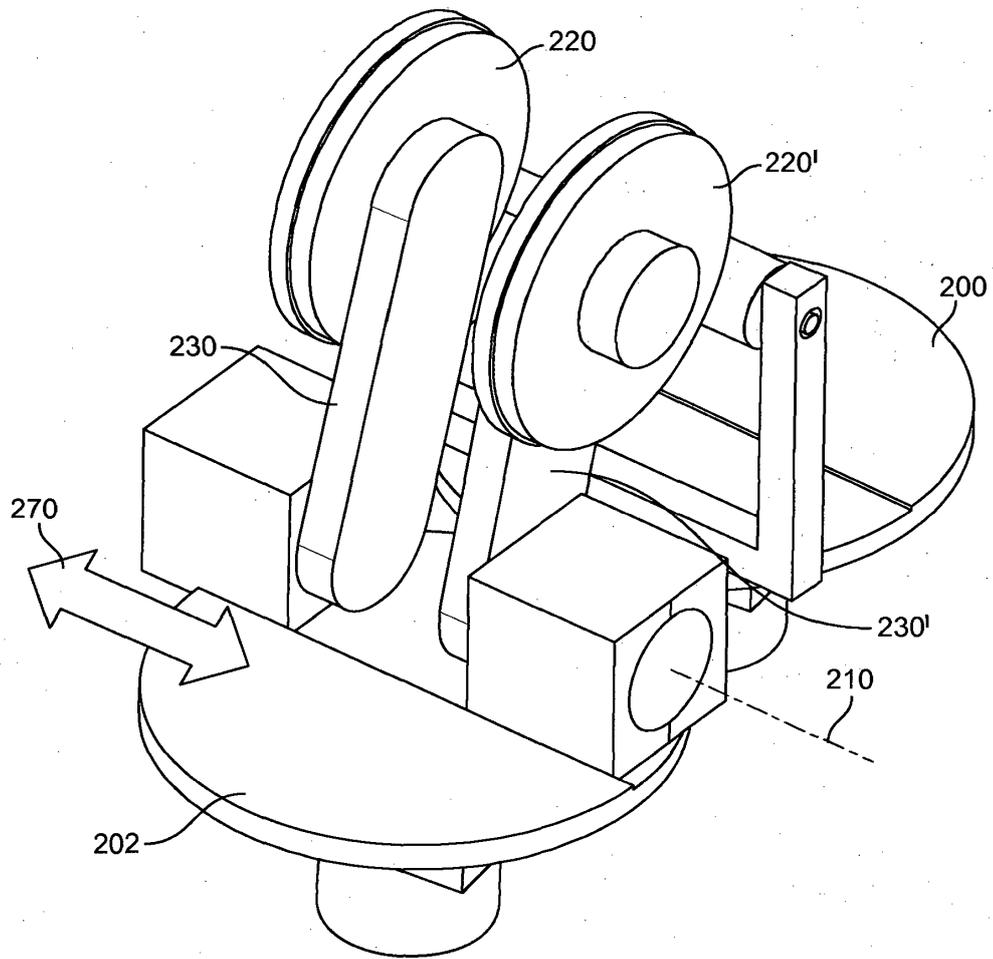


FIG. 17

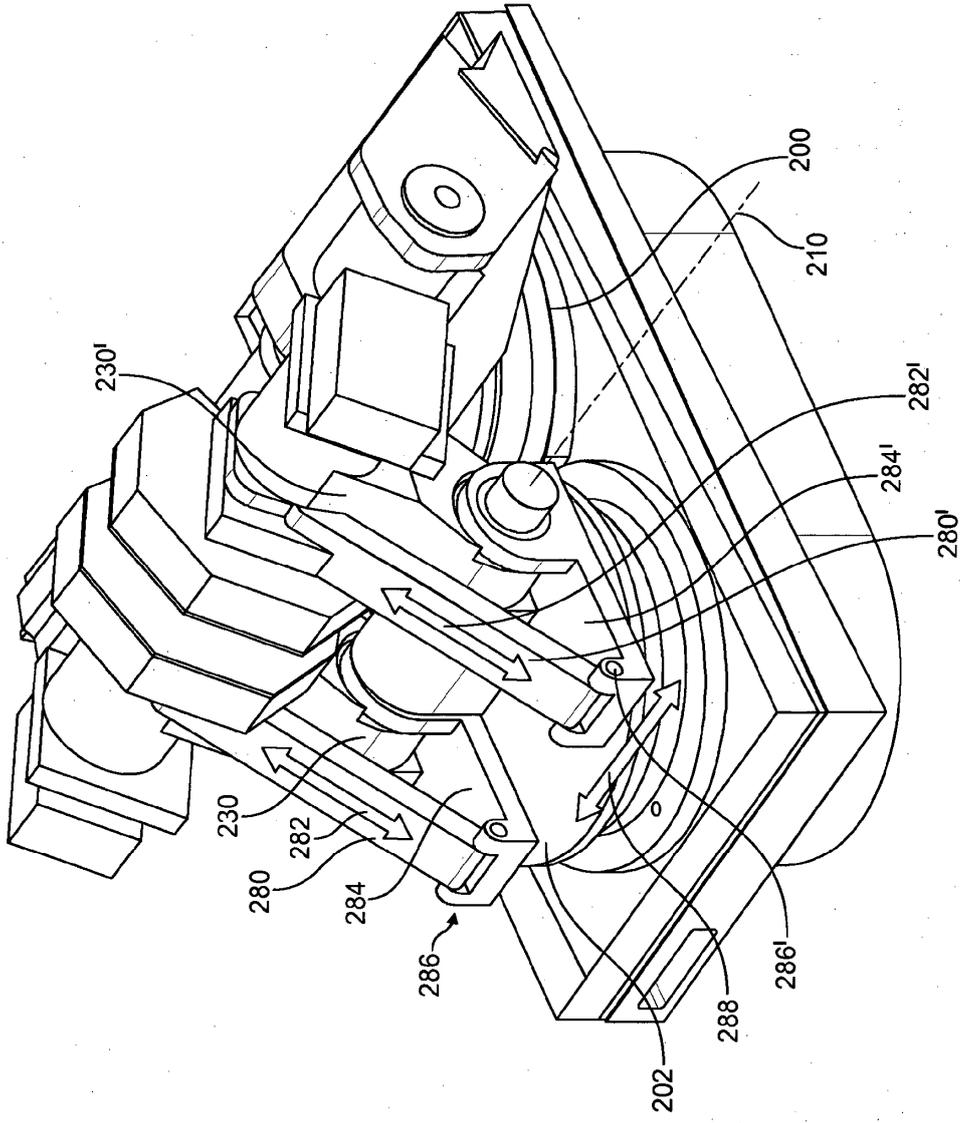


FIG. 18

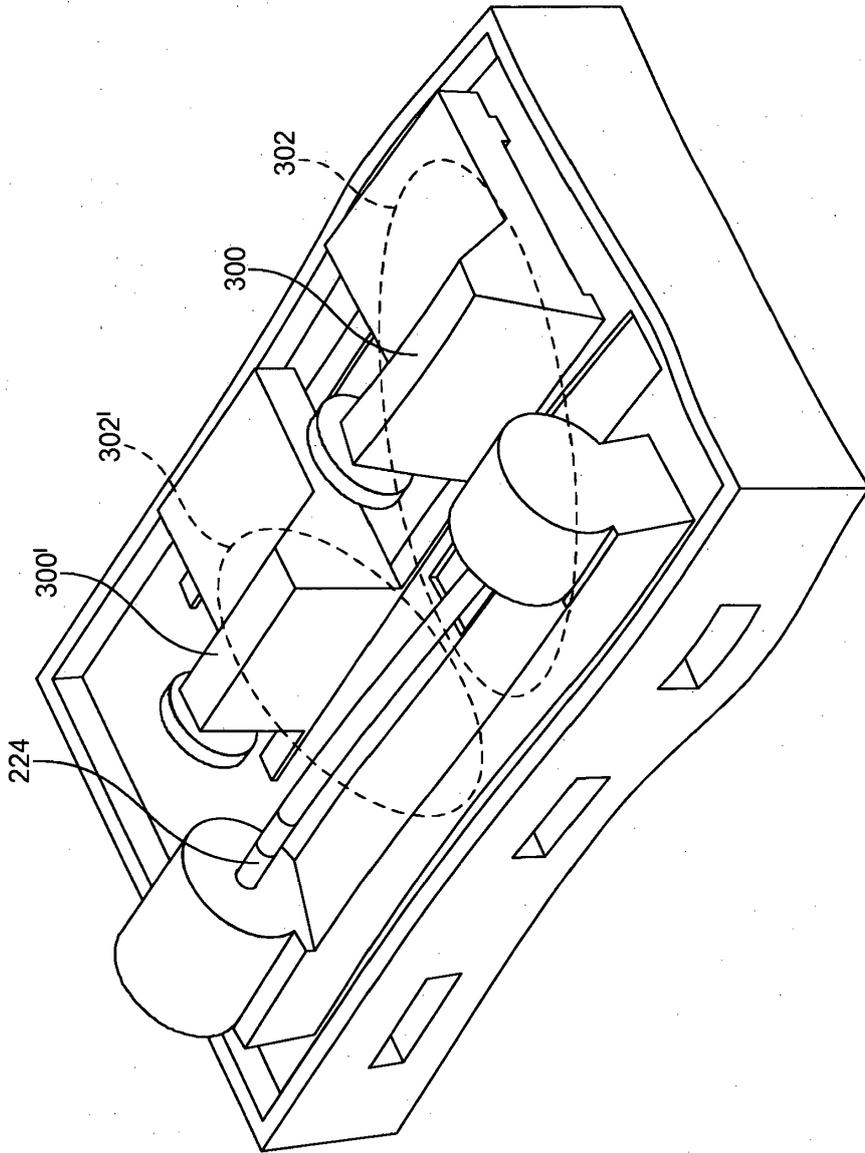


FIG. 19

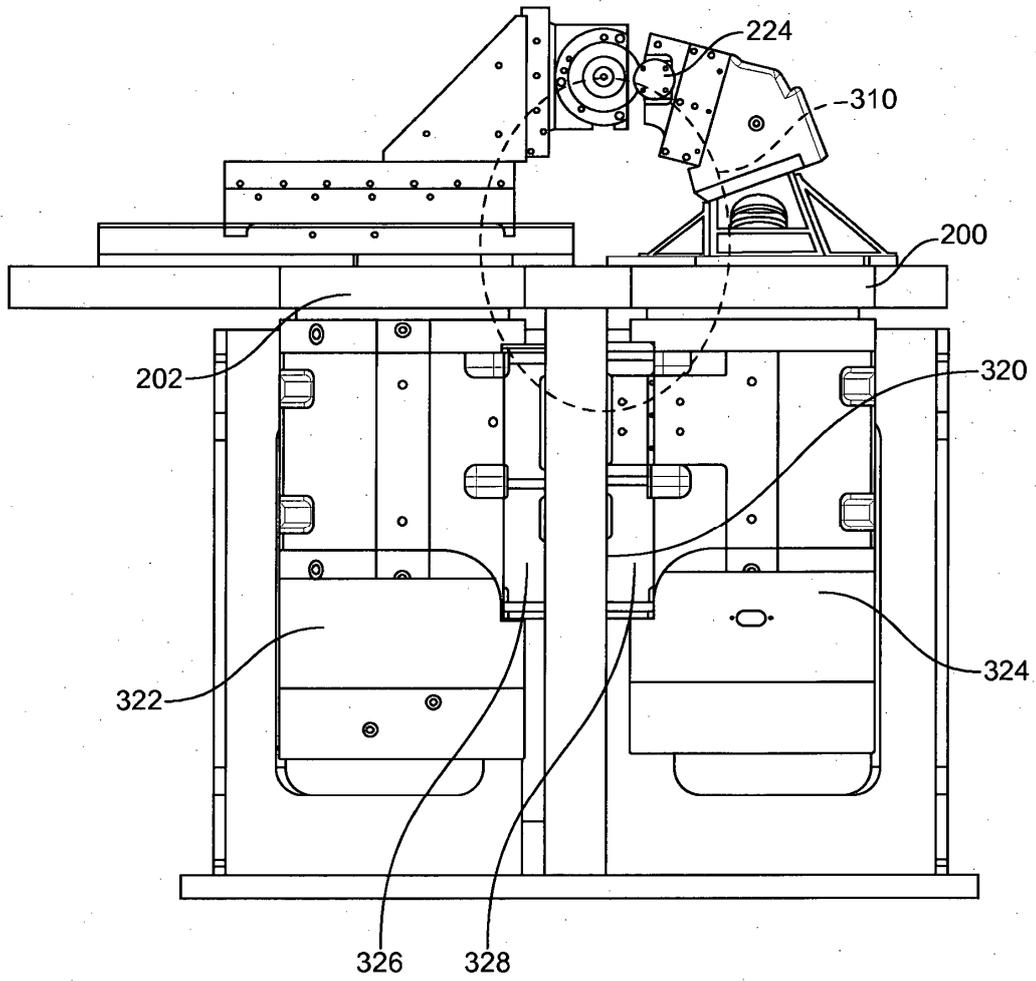


FIG. 20

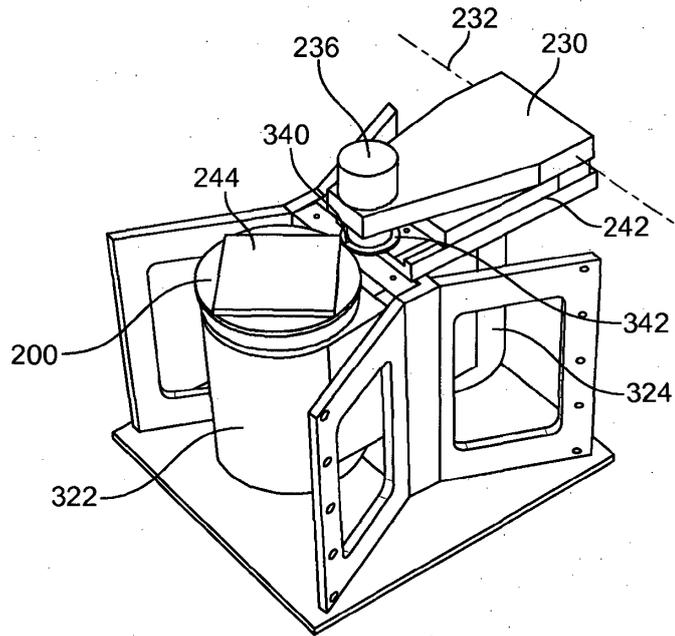


FIG. 21

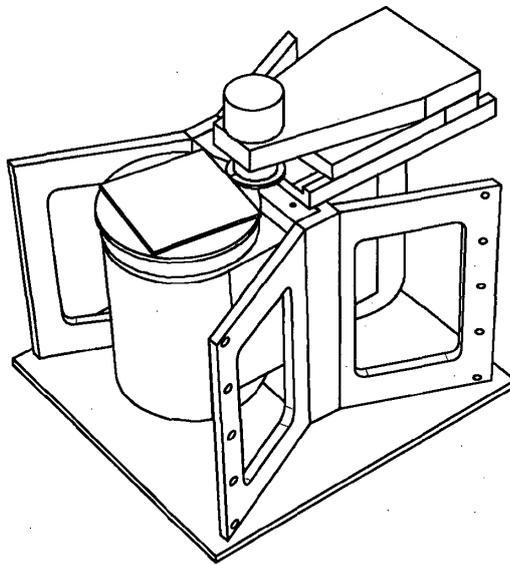


FIG. 22

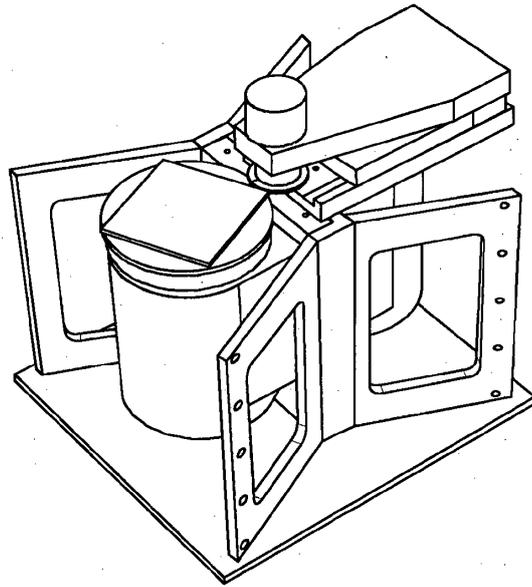


FIG. 23

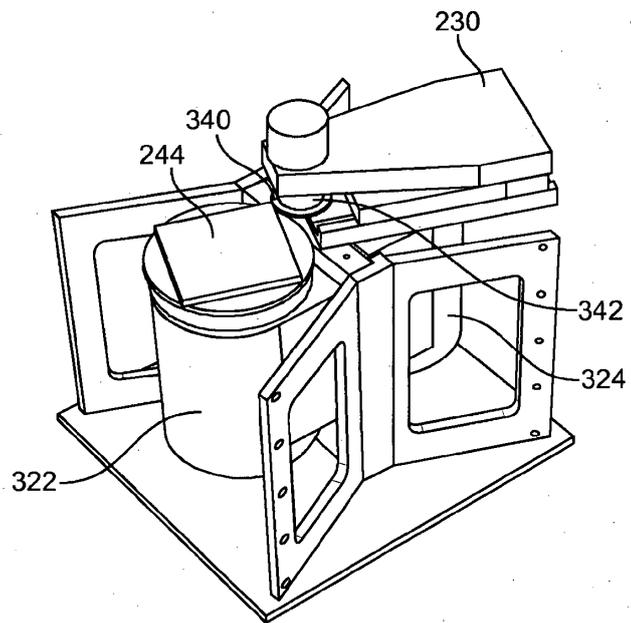


FIG. 24

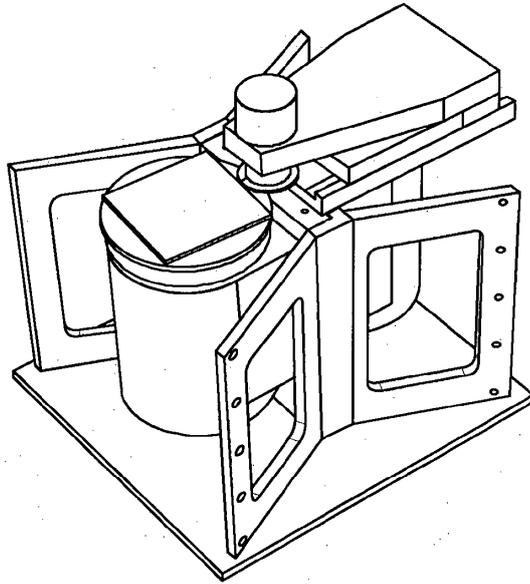


FIG. 25

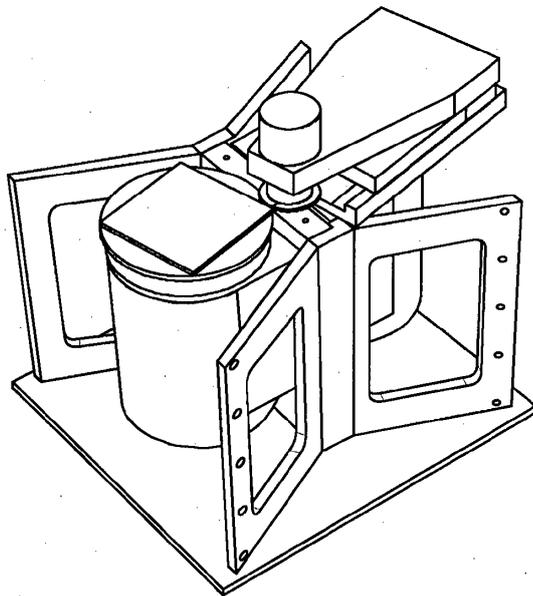


FIG. 26

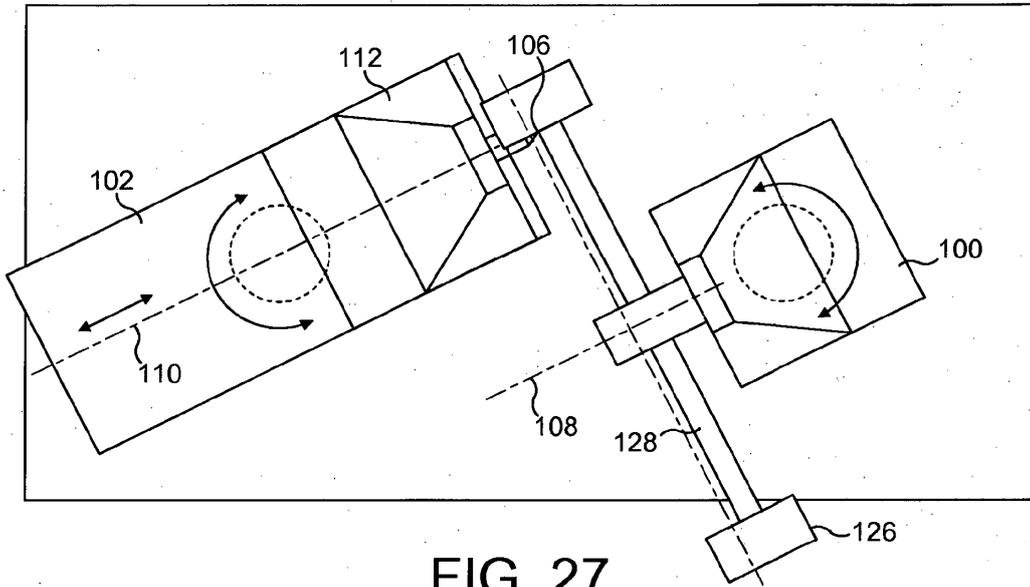


FIG. 27

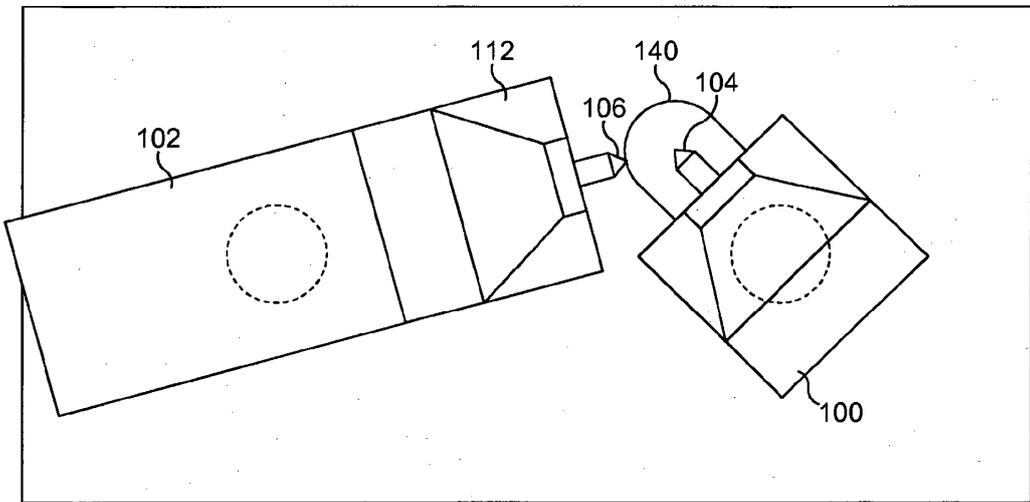


FIG. 28

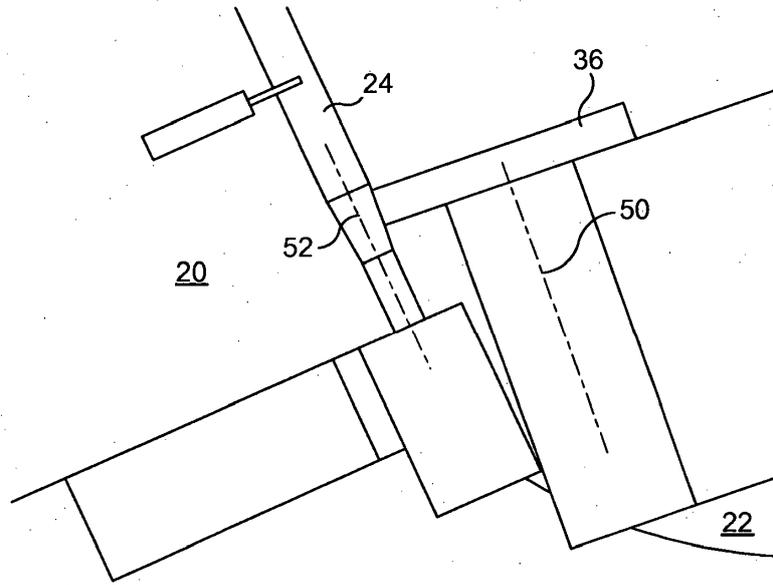


FIG. 29

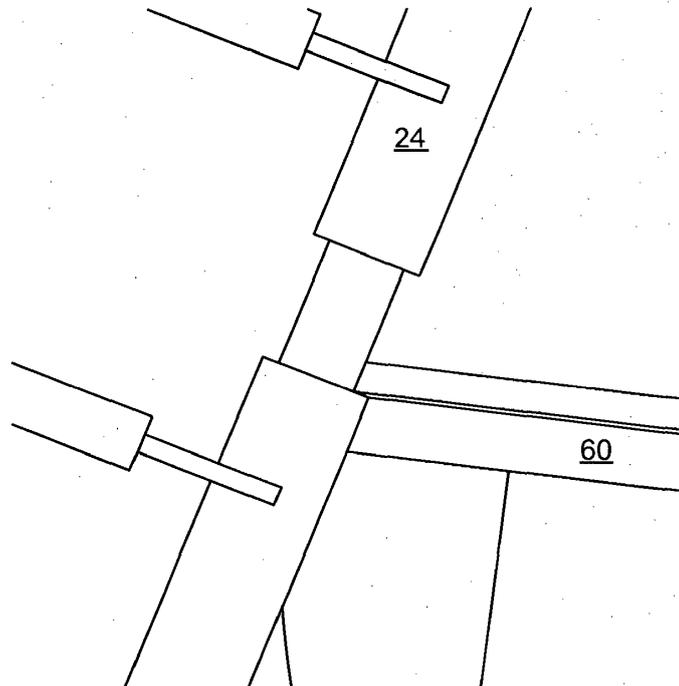


FIG. 30

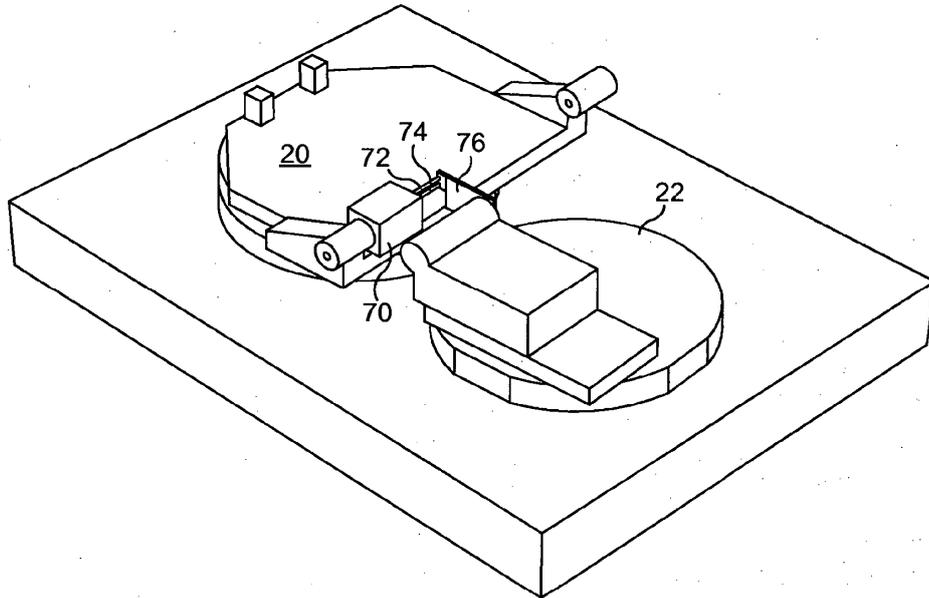


FIG. 31

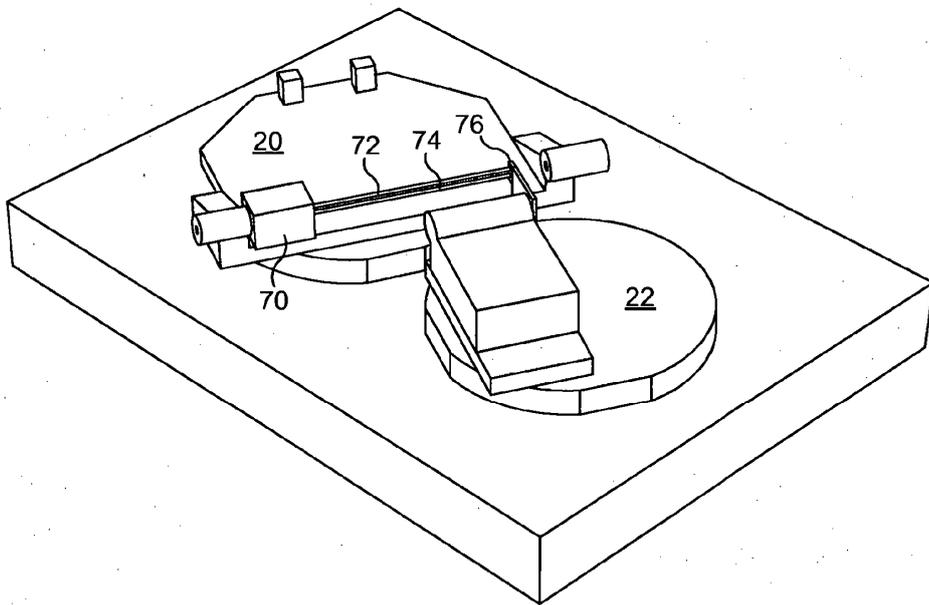


FIG. 32