

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 443 161**

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 10812986 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.11.2013 EP 2516108**

54 Título: **Máquinas herramienta y procedimientos de operación de las mismas**

30 Prioridad:

22.12.2009 GB 0922392

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

18.02.2014

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

STOCKER, MARK

74 Agente/Representante:

PÉREZ BARQUÍN, Eliana

ES 2 443 161 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

Máquinas herramienta y procedimientos de operación de las mismas

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a máquinas herramienta y en particular, a la reducción de errores de alineación en tales herramientas.

10 Antecedentes de la invención

Hay muchas aplicaciones para máquinas herramientas que requieren el control del movimiento de dos puntos en el espacio entre sí, en la posición y el ángulo, sobre un área o volumen de barrido. Es deseable minimizar el número de ejes de máquina implicados para optimizar este control. También es deseable mantener un bucle de rigidez muy apretado entre los dos puntos y lo ideal sería un valor constante de rigidez en el bucle cuando se ajustan la posición y el ángulo de los puntos. Esto mejora el nivel de precisión y la capacidad de repetición del movimiento.

Las máquinas herramientas existentes a menudo usan largos raíles de guía lineales para permitir el contacto entre una herramienta de corte (tal como una rueda de pulido) y una pieza de trabajo en cualquier posición a lo largo de la longitud de la pieza de trabajo. Raíles de guía lineales más cortos pueden ser llevados por los raíles largos para facilitar el movimiento de una herramienta de corte hacia o alejándose de la pieza de trabajo, en una dirección ortogonal a los raíles largos. Estos raíles (o ejes) apilados introducen un cumplimiento no deseado, reduciendo la rigidez de la herramienta al componente. Esto a su vez conduce a la reducción de la calidad de los componentes, en términos de su precisión dimensional y acabado. Además, los largos raíles de guía lineales típicamente tienen que ser al menos tan largos como la pieza de trabajo a mecanizar. Esto a menudo resulta en un eje con una pobre relación de soporte, donde el eje es más compatible en la dirección de la fuerza de corte. Este problema se agrava cuando un eje de alimentación ortogonal se apila sobre el eje largo.

El uso de ejes apilados también es problemático si se emplean codificadores de posición en el eje. Cuanto más alto sea la pila de ejes, mayor es la distancia entre los puntos de interés y los codificadores. Esto da lugar a errores de "desplazamiento Abbe", que reducen la precisión intrínseca de las máquinas herramientas.

Además, el uso de ejes lineales ortogonales apilados requiere alineación que lleva mucho tiempo y es costosa para mantener la ortogonalidad entre los ejes y para minimizar los errores de alabeo, guiñada y cabeceo para cada eje.

Estos ejes lineales largos también requieren cubiertas telescópicas largas que son caras, introducen fricción, tienen tendencia a fallar y además, pueden influir en la precisión del movimiento lineal (por ejemplo, su rectitud, precisión de posicionamiento y capacidad de repetición).

La presente invención busca superar los problemas anteriores asociados con el uso de raíles de guía largos y reducir la necesidad de ejes ortogonales apilados.

La publicación internacional n.º: 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 rotación de la máquina sobre la base y un segundo soporte montado en un segundo eje de rotación de la máquina sobre la base. El segundo eje de rotación es paralelo y está separado lateralmente del primer eje de rotación y lleva una fijación móvil con relación al segundo soporte a lo largo de un primer eje lineal de la máquina ortogonal al segundo eje de rotación. Se proporciona una disposición de control que es operable para controlar la orientación del primer soporte sobre el primer eje de rotación y la orientación de la fijación en relación al segundo eje de rotación y su posición a lo largo del eje lineal, para gobernar así la posición y la orientación del primer soporte y de la fijación entre sí. Esto se puede lograr sin necesidad de ejes lineales largos y un eje lineal apilado, superando así los problemas asociados con las configuraciones conocidas descritas anteriormente.

El documento US 5.231.587 describe un aparato de generación de lentes que utiliza el movimiento giratorio de los componentes sin un sistema de manera lineal. Incluye un husillo de soporte de herramienta que está soportado de forma giratoria sobre la base de la máquina, junto con un husillo de pieza de trabajo que también está soportado de manera giratoria en la base de la máquina.

Sumario de la invención

La presente invención se refiere a una máquina herramienta que comprende:
 una base de máquina;
 un primer soporte previsto en un primer eje de rotación de la máquina, estando montado el primer eje de rotación de la máquina en la base en una posición fija respecto a la base;
 un segundo soporte previsto en un segundo eje de rotación de la máquina, estando montado el segundo eje de

rotación de la máquina en la base en una posición fija respecto a la base, en el que el eje de rotación del segundo eje de rotación de la máquina es paralelo y está separado lateralmente del eje de rotación del primer eje de rotación de la máquina;

una fijación llevada por un brazo de soporte sobre el segundo soporte; y

- 5 una disposición de control operable para controlar la orientación del primer soporte con relación al eje de rotación del primer eje de rotación de la máquina y la orientación del segundo soporte respecto al eje de rotación del segundo eje de rotación de la máquina.

Según la invención, el brazo de soporte es móvil con relación al segundo soporte alrededor de un eje giratorio, con la fijación separada del eje de giratorio mediante el brazo de soporte; y

- 10 la disposición de control es operable para controlar también la posición de rotación de la fijación alrededor del eje giratorio, para gobernar la posición y la orientación del primer soporte y de la fijación entre sí.

Esta configuración proporciona beneficios asociados con las realizaciones descritas en el documento WO2009/093064, que se derivan de la provisión de dos ejes de rotación de la máquina proporcionados a una distancia fija. Se diferencia porque el movimiento de la fijación en relación con el segundo soporte es alrededor de un eje giratorio, con la fijación separada del eje rotatorio mediante un brazo de soporte, en lugar de que la fijación sea desplazable con relación al segundo soporte a lo largo de un eje lineal de la máquina.

- 15

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

- 20

El autor de la invención se ha dado cuenta que el grado de libertad ofrecido por el eje lineal de la máquina en realidad podría facilitarse en su lugar mediante un eje giratorio adicional, obviando así la necesidad de un eje lineal para esta función. Con un control apropiado mediante la disposición de control, la rotación de la fijación alrededor de su eje se puede lograr utilizando una disposición de accionamiento asociada para proporcionar el componente lineal requerido de movimiento de la fijación en relación al primer soporte. Por lo tanto, en algunas realizaciones, la máquina herramienta solo emplea estos tres ejes rotativos, facilitando de este modo el movimiento relativo entre el primer soporte y la fijación, mientras se reduce la susceptibilidad a los errores de alineación.

- 25

El uso de un tercer eje giratorio en lugar de un eje lineal significa que los tres ejes pueden ser ejes rotativos que se pueden sellar usando laberintos que no introducen fuerzas de fricción. Esto está en contraste con la protección contra el deslizamiento lineal o cobertura exigida por un eje lineal. Estos protectores o coberturas tienden a ser pesados, caros e introducen fuerzas de fricción no repetibles.

- 30

Además, el uso de un tercer eje giratorio es probable que signifique que una masa más pequeña se mueva para crear el componente lineal del movimiento deseado. Cuando se emplea un eje lineal, una masa relativamente grande que incluye la corredera 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 mayor medida. Esto a su vez puede requerir que los bucles servo del eje giratorio se "afinen" para evitar la inestabilidad servo en todo el intervalo de las inercias polares.

- 40

El término "eje de la máquina" indica un eje físico de la máquina en el presente documento, en oposición a un eje de referencia. Cada eje de la máquina tiene dos porciones que están accionadas en uso para moverse entre sí, alrededor o a lo largo de un eje de referencia, mediante disposiciones de accionamiento asociadas gobernadas mediante la disposición de control.

- 45

Con una rueda de pulido montada en la fijación, la invención reivindicada facilita el pulido por inmersión, cónico, en ángulo e interpolación sobre la longitud completa de una pieza de trabajo sujeta en el primer soporte. Es especialmente adecuado para el pulido de componentes delgados de múltiples características, tales como levas y cigüeñales.

- 50

El eje longitudinal de una pieza de trabajo montada en 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 manera que su longitud total es fácilmente presentable a una herramienta en el soporte. Más particularmente, el eje longitudinal de la pieza de trabajo puede estar situado en una orientación ortogonal a una línea radial que se extiende hacia el exterior desde el respectivo eje de rotación.

- 55

El tercer eje giratorio puede ser ortogonal al eje de rotación del segundo eje de rotación de la máquina. Alternativamente, puede estar en una orientación paralela al eje de rotación del segundo eje de rotación de la máquina.

- 60

65

Los soportes pueden ser giratorios independientemente alrededor de sus respectivos ejes de rotación. Alternativamente, 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.

5 La posición de rotación de los soportes puede bloquearse selectivamente con relación a la base de la máquina. Por ejemplo, durante una operación de pulido por inmersión, un solo eje, a saber, el eje giratorio de la fijación está "vivo", haciendo la rigidez dinámica de la máquina herramienta durante el pulido significativamente mayor que la de una máquina herramienta convencional que emplea solo railes de guía lineales. Cada eje giratorio puede bloquearse, por
10 ejemplo, mediante sujeción servo, mediante un freno, o apagando los cojinetes hidrostáticos o de aire asociados de forma efectiva para pulir los ejes respectivos.

15 En realizaciones preferidas, los soportes se apoyan sobre la base de la máquina mediante cojinetes giratorios, preferentemente mediante rodamientos y cojinetes de empuje. Los cojinetes de empuje de gran tamaño pueden montarse directamente sobre la base de la máquina para proporcionar ejes amortiguados muy rígidos con una muy buena relación de soporte en todas las direcciones, que resultan en características axisimétricas de rigidez. Una base de la máquina plana puede construirse fácilmente, sobre la que se montan los dos planos de empuje del eje giratorio.

20 Los tres ejes giratorios pueden emplear componentes comunes, reduciendo el coste total de la máquina. Por ejemplo, se pueden emplear el mismo o similar motor, accionamiento, codificador y/o componentes de cojinete.

25 Preferiblemente los cojinetes del primer y segundo ejes de rotación y del eje giratorio asociado con la fijación están en forma de cojinetes hidrostáticos. Los cojinetes lineales suelen tener huecos de soporte más grandes que los cojinetes giratorios y requieren que se utilice aceite más grueso (más viscoso) para mantener las velocidades de flujo en un nivel aceptable. Para fines prácticos, todos los ejes de la máquina (incluyendo un husillo de pulido si está presente) utilizan preferentemente el mismo aceite hidrostático. El uso de un aceite más viscoso provoca un mayor calentamiento del aceite en un husillo de pulido a alta velocidad. Esto puede provocar problemas de sobrecalentamiento del husillo. Por lo tanto, un aceite más fino es preferible para los husillos de pulido. Si los tres
30 ejes de la máquina tienen cojinetes hidrostáticos rotativos, todos los cojinetes pueden tener huecos de cojinete más pequeños y el uso de un aceite de menor viscosidad es beneficioso para el husillo de pulido.

35 La rotación de los soportes respecto a la base de la máquina se puede realizar mediante respectivos motores de accionamiento directos.

40 Preferiblemente, cada soporte incluye un sensor de rotación para proporcionar una señal relacionada con la posición de rotación del soporte respectivo con relación a la base de la 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 ser configurable para compensar la imprecisión 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.

45 En una implementación preferida, uno de los soportes lleva una fijación de herramienta, que puede ser en forma de un husillo de pulido o un cabezal adaptado para girar una rueda de pulido montada en el mismo, por ejemplo. El cabezal puede ser llevado por el brazo de soporte y estar orientado de tal manera que el eje de rotación de la rueda de pulido sea paralelo al eje giratorio. Alternativamente, el eje de rotación de la rueda de pulido puede ser ortogonal al eje giratorio.

50 Alternativamente, o además, un soporte puede llevar una herramienta tal 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 similares se pueden proporcionar en cada soporte y se seleccionan según sea apropiado mediante la rotación del soporte respectivo.

55 Preferiblemente, la línea central de la fijación (y/o centro de masa de la fijación de la herramienta y de la herramienta asociada) es más alta por encima de la base de la máquina que la línea central de la pieza de trabajo (y/o su centro de masa). Esto resulta en que las fuerzas ejercidas sobre la pieza de trabajo mediante una herramienta se dirijan hacia abajo hacia la base de la máquina, lo que aumenta la estabilidad de la máquina.

60 Dos fijaciones de herramienta pueden llevarse por uno de los soportes, cada una desplazable respecto al soporte de forma independiente del otro. De esta manera, dos características pueden ser mecanizadas en una pieza de trabajo simultáneamente.

65 Cada fijación de la herramienta puede llevarse por un brazo de soporte respectivo en el segundo soporte, siendo cada brazo de soporte desplazable independientemente respecto al segundo soporte alrededor de un respectivo eje

de rotación. En algunas realizaciones, cada brazo de soporte está montado sobre un eje común. Al menos uno de los brazos de soporte también puede ser desplazable respecto a un soporte a lo largo de un eje lineal para alterar la separación de las fijaciones de las herramientas.

- 5 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 rotación de la máquina.

La base de la máquina puede comprender un soporte central situado entre los ejes de la máquina, con los ejes de la máquina montados sobre lados opuestos del soporte.

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

- 15 Preferiblemente, el peso de ambos de los ejes de la máquina está soportado sustancialmente mediante el soporte central.

- 20 La presente invención proporciona además un procedimiento de mecanizado de una pieza de trabajo utilizando una máquina herramienta tal como se ha definido anteriormente, que comprende las etapas de:
 montar una pieza de trabajo en uno de los soportes;
 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.

- 25 De esta manera, el primer y segundo ejes de rotación se pueden utilizar para llevar una herramienta de corte a la posición deseada a lo largo de una pieza de trabajo. Estos ejes de rotación pueden entonces bloquearse y el tercer eje giratorio se emplea para alimentar una herramienta de corte en la pieza de trabajo.

- 30 El procedimiento también puede incluir las etapas adicionales de:
 rotar los soportes en direcciones opuestas y mover la pieza de trabajo y/o la herramienta de corte en relación con el respectivo soporte para acoplarse con 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 respecto al soporte respectivo, una herramienta de corte puede ser atravesada a lo largo de una pieza de trabajo alargada, lo que permite la generación de perfiles de componentes complejos.

- 40 La presente invención también proporciona un procedimiento de mecanizado de una pieza de trabajo utilizando una máquina herramienta según se define anteriormente, que comprende las etapas de:
 montar una pieza de trabajo que tiene un eje longitudinal sobre uno de los soportes;
 rotar el otro soporte de manera que el eje de rotación de una rueda de pulido llevada por el otro soporte no es paralela respecto al eje longitudinal de la pieza de trabajo; y
 moler la pieza de trabajo con la rueda de pulido con el eje de rotación de la rueda de pulido en un ángulo respecto al eje longitudinal de la pieza de trabajo.

- 45 Un procedimiento adicional se proporciona de acuerdo con la invención, que comprende las etapas de:
 (a) montar una pieza de trabajo en uno de los soportes;
 (b) montar una herramienta que tiene un eje de referencia en el otro soporte; y
 50 (c) mover el primer soporte respecto al eje de rotación del primer eje de rotación y la fijación respecto al eje de rotación del segundo eje de rotación y el eje giratorio, de tal manera que una superficie curvada o perfilada predeterminada se define en la pieza de trabajo, manteniendo al mismo tiempo el eje de referencia de la herramienta perpendicular a dicha superficie.

- 55 También se proporciona un procedimiento de calibración de una máquina herramienta según se define anteriormente, que comprende las etapas de:
 (a) montar una fuente de luz láser en 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;
 (c) monitorizar la trayectoria del rayo láser respecto a las posiciones de los soportes según lo medido mediante los
 60 respectivos sensores de rotación;
 (d) calcular errores de posicionamiento; y
 (e) calibrar la disposición de control para reducir los errores.

- 65 El dispositivo óptico puede ser un detector, o un reflector para reflejar la luz láser incidente de vuelta hacia un detector montado en el otro soporte, por ejemplo. En una implementación preferida, se emplean rayos láser dobles 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 software de corrección de errores 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 fabricación de la máquina, es posible medir la posición del movimiento lineal interpolado entre los dos puntos y hacer compensaciones de software.

La presente invención tiene un amplio rango de aplicaciones potenciales en las que la posición y el ángulo de dos puntos entre sí 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 un control de la posición o del ángulo sobre un área o volumen de barrido. Un ejemplo específico es el torneado con diamante, donde a menudo es necesario mantener una herramienta de corte en una orientación normal respecto a una superficie que se está mecanizando.

15 Breve descripción de los dibujos

Una configuración y realizaciones de la invención de la máquina herramienta conocida se describirán ahora a modo de ejemplo con referencia a los dibujos esquemáticos adjuntos, en los que:

las figuras 1 a 3 son vistas en perspectiva de las máquinas herramienta descritas en el documento WO2009/093064; las figuras 4 a 9 son vistas en perspectiva de una máquina herramienta de realización de la presente invención para ilustrar su funcionamiento;

las figuras 10 y 11 son vistas lateral y en perspectiva, respectivamente, de una máquina herramienta de realización de la presente invención y que tiene una rueda de pulido desplazable alrededor de un eje rotativo horizontal;

la figura 12 es una vista en perspectiva simplificada de una máquina herramienta de la forma mostrada en las figuras 10 y 11;

la figura 13 es una vista en perspectiva de una máquina herramienta adicional de realización de la invención que tiene una fijación desplazable alrededor de un eje giratorio horizontal;

la figura 14 es una vista en perspectiva de una máquina herramienta de realización de la invención, en la que una rueda de pulido es desplazable con relación al segundo soporte alrededor de un eje de rotación vertical; y

las figuras 15 a 18 son vistas en perspectiva de máquinas herramienta de realización de la invención, que incluyen dos brazos de soporte giratorios independientemente alrededor de un eje giratorio horizontal;

la figura 19 es una vista en perspectiva de una máquina de pulido conocida para ilustrar su bucle térmico variable;

la figura 20 es una vista en sección transversal lateral de una máquina herramienta de acuerdo con una realización adicional de la presente invención que incluye un soporte central para los dos ejes de rotación de la máquina;

las figuras 21 a 26 son vistas en perspectiva de una máquina herramienta de la forma mostrada en la figura 13 en diferentes orientaciones; y

las figuras 27 a 32 se han tomado del documento WO2009/093064 para ilustrar las características y las capacidades de las máquinas herramienta descritas en el mismo, que también son aplicables a realizaciones de la presente invención.

Debe indicarse que las figuras son esquemáticas solamente. Los mismos signos de referencia se utilizan generalmente para referirse a características correspondientes o similares en realizaciones modificadas y diferentes.

45 Descripción detallada de los dibujos

Las figuras 1 a 3 son representaciones esquemáticas en perspectiva de máquinas herramienta que se describen en el documento WO2009/093064. Incluyen una base de máquina 10. Un primer y segundo soportes 100, 102 están montados directamente en la base para su rotación alrededor de los ejes de rotación de los respectivos ejes de rotación de la máquina, que son perpendiculares al plano de la base de la 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 del mismo.

Una fijación 112 se lleva por el segundo soporte 102 y es desplazable a lo largo de un eje lineal de la máquina. El punto de referencia 104 está en el primer soporte y el punto de referencia 106 está en la fijación 112, llevada por el segundo soporte 102. El control de la posición y de la orientación del primer soporte y de la fijación se considera en el presente documento con referencia a los puntos 104 y 106 y sus ejes de referencia 108 y 110 asociados.

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

La figura 2 ilustra el movimiento de la fijación 112 a lo largo de su eje lineal a una segunda posición 112' mostrada en contorno en línea de trazos. La flecha C indica 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 de rotación y un eje lineal permite el

movimiento controlado de los puntos en la posición y el ángulo en un área de barrido.

5 La figura 3 muestra una configuración de máquina herramienta en la que el primer soporte 100 también se puede mover a lo largo de un eje lineal F de la máquina, que es paralelo a su eje de rotación. La posición del soporte después del movimiento a lo largo de este eje se muestra mediante un contorno en línea de trazos 100'. Esta dimensión adicional de movimiento facilita el control de la posición y la orientación del primer soporte y la fijación entre sí a través de un volumen de barrido.

10 En realizaciones de la presente invención, las capacidades de las configuraciones de la máquina herramienta conocida que se muestran en las figuras 1 a 3 se pueden conseguir proporcionando una fijación sobre un soporte que es desplazable con relación al soporte alrededor de un eje giratorio y está separado del eje giratorio mediante un brazo de soporte. Se emplea un componente lineal del movimiento de la fijación alrededor de este eje giratorio para conseguir el grado de libertad lineal presente en estas disposiciones conocidas.

15 El uso del eje giratorio para proporcionar un componente horizontal de movimiento para la fijación se ilustra en las figuras 4 a 9.

20 Un primer y segundo soportes 200, 202 están montados directamente sobre una base de máquina 10 para su rotación alrededor de los ejes de rotación de los respectivos ejes de rotación de la máquina, que son perpendiculares al plano de la base de la máquina. Los puntos 204 y 206 indican puntos de referencia asociados con cada soporte. Un eje de referencia 214 pasa por el punto de referencia 204.

25 Un brazo de soporte 208 se lleva por el segundo soporte 202 y es desplazable con relación al segundo soporte alrededor de un eje giratorio 210.

30 Las figuras 4 a 6 muestran posiciones sucesivas de los componentes de la máquina herramienta como los puntos de referencia 204 y 206 que se mueven sobre la superficie de una pieza de trabajo nocional representada por una zona de trabajo cúbica 212. Cuando los soportes giran 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.

35 Las vistas laterales de las orientaciones de la máquina herramienta mostrada 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 giro del brazo de soporte con relación al soporte.

40 Una máquina de pulido que es una realización de la presente invención se muestra en las figuras 10 y 11. Una rueda de pulido 220 está provista de su eje de rotación 222 en una orientación horizontal y separada del eje giratorio horizontal 210 mediante un brazo de soporte (no visible en estas figuras). Una pieza de trabajo 224 está montada en el otro soporte 202 (visible en la figura 11). La flecha 226 indica el movimiento del eje de la rueda de pulido a lo largo de un arco como resultado de su movimiento respecto al eje giratorio 210, estando identificada la rotación alrededor de este eje mediante la flecha 228.

45 El componente horizontal del movimiento de la rueda de pulido alrededor del eje de rotación 210 alcanza el mismo movimiento de corrección horizontal que el eje lineal de la máquina presente en las máquinas herramienta descritas en el documento WO2009/093064.

50 Preferiblemente, el tercer eje giratorio de accionamiento del motor 229 está montado sobre el segundo soporte 202 con su línea central paralela al eje 222 del cabezal de la rueda y en particular, con su línea central coincidente con el tercer eje giratorio 210. Un contrapeso 223 se lleva también mediante el tercer eje giratorio para ayudar con el control de la posición del cabezal de la rueda respecto a ese eje.

55 La figura 12 muestra un modelo de CAD que se utilizó para demostrar las matemáticas de control necesarias para utilizar el movimiento giratorio alrededor de un eje giratorio horizontal para proporcionar un movimiento de corrección.

60 Cuando se consigue este movimiento de corrección usando un eje lineal para proporcionar un movimiento en línea recta entre la rueda de pulido y la pieza de trabajo, los datos de corrección lineal permanecen constantes, independientemente del diámetro de la parte que se pule o del diámetro de la rueda de pulido. Con una configuración de la máquina de la forma mostrada en la figura 12, el movimiento de corrección necesario para mantener el movimiento de línea recta (por ejemplo) cambia con el diámetro de la rueda de pulido y con el diámetro de la pieza de trabajo. Los ángulos de eje giratorio calculados utilizando el modelo de CAD se muestran en la siguiente tabla:

	Parte de 50 mm				
	Rueda de 400 mm			Rueda de 401 mm	
	Ángulo del tercer eje giratorio	Alcance		Ángulo del tercer eje giratorio	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				
	Rueda de 400 mm			Rueda de 401 mm	
	Ángulo del tercer eje giratorio	Alcance		Ángulo del tercer eje giratorio	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	

- 5 Se utilizaron dos diámetros de la rueda de pulido (400 mm y 410 mm) y dos diámetros de componentes (50 mm y 51 mm). En la simulación, la rueda de pulido se forzó a mantener su borde de pulido paralelo a la superficie longitudinal de la pieza de trabajo. Se puede observar que los ángulos de los ejes giratorios 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 rueda de pulido y de los componentes.
- 10 Por lo tanto, con el conocimiento de los diámetros de la rueda de pulido y de los componentes, el movimiento angular alrededor del tercer eje giratorio se puede calcular para mantener el perfil de movimiento requerido entre la herramienta de corte y la pieza de trabajo.
- 15 La figura 13 muestra otra configuración de la máquina herramienta de acuerdo con una realización de la invención. Un brazo de soporte 230 puede pivotar alrededor de un tercer eje giratorio 232 en la forma indicada mediante la flecha 234. En la disposición representada, un cabezal 236 de rueda de pulido está montado en el extremo distal del brazo de soporte de tal manera que su eje de rotación es ortogonal al tercer eje giratorio y a la dirección radial respecto al eje que se extiende a lo largo del brazo de soporte. El giro del brazo alrededor del eje 232 resulta en un movimiento del cabezal de la rueda de pulido en un arco, indicado mediante la flecha 238.
- 20 Con el soporte en una orientación generalmente horizontal, el movimiento de su extremo distal alrededor del tercer eje giratorio es principalmente en la dirección vertical.
- 25 Una junta flexible 240 se utiliza para facilitar la rotación del brazo de soporte 230 alrededor del eje rotatorio 232 en la configuración mostrada en la figura 13, pero se apreciará que cualquier tipo de acoplamiento giratorio podría emplearse, tal como un cojinete giratorio. La fuerza de accionamiento giratorio puede proporcionarse mediante una amplia gama de opciones, que incluye 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.
- 30 El brazo de soporte y la junta flexible están montados para moverse a lo largo de un eje lineal 242 llevado por el segundo soporte 202. Esto facilita el movimiento del cabezal de la rueda de pulido hacia y alejándose de una pieza de trabajo 244 montada sobre el primer soporte 200. También se emplea este movimiento lineal para corregir el componente horizontal del movimiento del cabezal de la rueda de pulido alrededor del tercer eje giratorio 232.
- 35 Como se muestra en la figura 13, este movimiento alrededor del tercer eje giratorio puede utilizarse para subir y bajar una rueda de pulido orientada con su eje de rotación sustancialmente vertical (es decir, ortogonal al tercer eje giratorio y al brazo de soporte). Entonces se puede emplear para formar un perfil de borde en la pieza de trabajo 244 (tal como una oblea de silicio), por ejemplo, o para mover la rueda entre una pieza de trabajo y una rueda de pulido que forma la rueda 245 debajo de la misma.
- 40 Otra realización de la invención se representa en la figura 14. Aquí, un brazo de soporte 250 es giratorio alrededor de un tercer eje giratorio 252. Este eje tiene una orientación vertical, paralela con los ejes de rotación del primer y segundo ejes 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 256 de la rueda de pulido alrededor del eje en un arco indicado

mediante la flecha 258. Esto sirve para mover una rueda de pulido 260 montada del cabezal de la rueda de pulido horizontalmente hacia y alejándose de una pieza de trabajo 262 montada sobre el primer soporte 200.

5 De una manera similar a las realizaciones anteriores, una herramienta (en este caso la rueda de pulido 260) se puede mover a lo largo de una pieza de trabajo alargada 262 mediante la rotación de los respectivos soportes 202, 200, con un componente del movimiento de la herramienta alrededor del tercer eje giratorio 252 en una dirección perpendicular al eje de la pieza de trabajo que sirve para proporcionar un movimiento de corrección.

10 En la configuración mostrada en la figura 14, se puede observar que la altura de la fijación en el extremo del brazo de soporte 250 se mantiene constante durante el funcionamiento de la máquina. Esto significa que no son necesarios los cálculos de corrección descritos anteriormente en relación con la figura 12.

15 Además, si el brazo 250 se mueve solo unos pocos grados a cada lado de una orientación paralela con el eje de la pieza de trabajo durante una operación 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 mostrada en la figura 14 emplea un tercer eje giratorio para proporcionar el movimiento cerca de ese eje lineal, empleando mientras solo ejes giratorios.

20 Las figuras 15 a 18 muestran máquinas herramienta que son realizaciones de la presente invención que incluyen dos fijaciones de las herramientas. Cada fijación de la herramienta se realiza mediante un brazo de soporte respectivo 230, 230'. En estas realizaciones, las fijaciones de las herramientas están dispuestas para llevar respectivas ruedas de pulido 220, 220', con el movimiento de las mismas alrededor del tercer eje giratorio 210 que proporciona una respectiva entrada de pulido. Esto permite que cada rueda de pulido pule un diámetro diferente de
25 manera simultánea entre sí.

Se proporciona un accionamiento giratorio independiente para cada brazo de soporte junto con un codificador de posición asociado. Por consiguiente, cada rueda de pulido es capaz de operar de forma completamente independiente entre sí. Por lo tanto, dos características pueden pulirse al mismo tiempo en una pieza de trabajo, que
30 se puede emplear, por ejemplo, en molido de codo orbital.

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

35 La figura 16 muestra una vista similar a la de la figura 15, excepto que el brazo de soporte 230 se ha movido a lo largo y paralelo al eje de rotación 210 para estar más cerca al brazo de soporte 230'.

40 En la configuración mostrada en las figuras 15 y 16, los dos brazos de soporte están soportados por un árbol de cojinete común. En la realización representada en la figura 17, los dos brazos de soporte 230, 230' están montados en ejes de soporte separados. El brazo de soporte 230 está montado para moverse a lo largo de un eje lineal paralelo al eje de rotación 210, que facilita el movimiento en la dirección indicada mediante la flecha 270. Esto facilita el control de la separación entre los dos brazos de soporte y las herramientas asociadas montadas en los mismos.

45 Una configuración adicional de dos fijaciones 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 giratorio 210. En lugar de un accionamiento giratorio en el eje, 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 mediante las flechas 282, 282'. Cada accionamiento lineal está acoplado a una fijación 284, 284' respectiva a través de respectivos pivotes 286, 286'. El otro extremo de cada accionamiento lineal está acoplado al brazo de soporte correspondiente.
50 La fijación de pivote 284' es desplazable a lo largo de un eje lineal paralelo al eje de rotación 210, que proporciona el movimiento en una dirección indicada mediante la flecha 288. Esto proporciona un control de la separación entre los brazos de soporte 230, 230' y las herramientas asociadas.

55 Un aspecto adicional de la presente invención se describirá ahora con referencia a las figuras 19 y 20. Una configuración de la máquina herramienta de pulido conocida que emplea largos ejes lineales para pulir una pieza de trabajo alargada 224 se muestra en la figura 19. Un cabezal 300 de la rueda de pulido se muestra en dos posiciones diferentes 300, 300'. Se requerirá este movimiento para facilitar el acoplamiento de la rueda de pulido con la longitud completa de la pieza de trabajo.

60 Cada posición 300, 300' tiene "bucles térmicos y de rigidez" asociados, indicados esquemáticamente mediante 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 de la máquina y la estructura entre la herramienta de corte y el componente. Cuanto más corto es el camino, más rígida es la máquina. El bucle térmico es el camino más corto a través de los componentes mecánicos de la máquina y la estructura entre la herramienta de corte y el componente. Cuanto más
65 corto sea el camino menos susceptible a distorsiones térmicas será la máquina.

5 Se puede observar que las posiciones de los bucles térmicos 302, 302' son bastante diferentes. Si se inicia el pulido en la posición 300, esto dará lugar a un aumento de la temperatura en esta región de la máquina respecto al resto, por lo que a medida que el cabezal de la rueda de pulido se mueve a la posición 300', se encontrará con un gradiente de temperatura y las variaciones de alineación asociadas.

10 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 la máquina que conecta la fijación de la rueda de pulido con la fijación del componente. Es el área en la que se recogen las virutas de pulido y el refrigerante durante el proceso de pulido. Las virutas de pulido y el refrigerante tienden a calentar el material de la garganta debajo de la zona de pulido. La región de la garganta que se calienta cambia, en función de la posición axial a lo largo de los componentes que se han de pulir. En la región de la garganta que se calienta, el material se expande, haciendo que la región de la garganta se abra. Con el tiempo, el conjunto de la garganta se calienta, abriendo la garganta. Esto puede hacer que la posición de la rueda de pulido se mueva lejos del componente. El error del movimiento será más grande donde la garganta está más caliente. Como no hay una medición directa de la posición entre la rueda de pulido y el componente, no existe un sistema de retroalimentación para permitir que los errores causados por la apertura de la garganta sean compensados.

20 Una máquina herramienta que tiene dos ejes de rotación de la máquina paralelos como se describe en el presente documento se muestra en la figura 20. Un bucle térmico/de rigidez 310 asociado está marcado en el dibujo. A medida que los ejes giran para presentar diferentes partes de una pieza de trabajo 224 a una máquina herramienta llevada por el soporte 202, el bucle térmico 310 queda sustancialmente sin cambios, evitando de este modo las imprecisiones resultantes de un bucle térmico variable.

25 La figura 20 ilustra una realización adicional de la presente invención, en la que se proporciona un soporte central 320 entre los ejes de rotación de la máquina 322 y 324.

30 Con una configuración de lecho horizontal típico, los ejes están soportados desde abajo. En la disposición de la figura 20, cada uno de los ejes de rotación de la máquina está montado en un lado respectivo del soporte 320. Cada eje de la máquina está acoplado al lado adyacente del soporte mediante una fijación 326, 328, que se extiende horizontalmente entre el eje respectivo y el soporte. El soporte central o losa lleva de este modo el peso de cada eje de la máquina a ambos lados. Como resultado, las fuerzas generadas durante el funcionamiento de la máquina herramienta actúan a través de los ejes de la máquina en direcciones opuestas sobre el soporte central 320. Por lo tanto, el soporte resiste estas fuerzas en un estado de tensión o de compresión, en lugar de 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. Esto sirve para reducir aún más los errores durante el funcionamiento de la máquina.

40 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 pulir un lado de una baldosa rectangular 244 a modo de ejemplo. En las figuras 21 a 23, el cabezal 236 de la rueda de pulido se mueve solamente a lo largo del eje lineal 242, con la posición de giro del soporte 202 alrededor del eje de rotación del respectivo eje de rotación de la máquina 324 sin cambios.

45 Al considerar la línea de referencia 340 marcada sobre la rueda de pulido 342, se puede ver que el punto de contacto entre la rueda y la baldosa cambia continuamente a medida que la rueda se mueve a lo largo del lado de la baldosa. Por lo tanto, no es posible colocar las boquillas de refrigerante de tal manera que proporcionen una refrigeración y un lavado óptimos durante el pulido completo de la baldosa. Se requiere una fijación de la boquilla de refrigerante articulada que sea capaz de realizar el seguimiento del punto de contacto.

50 En contraste, en las figuras 24 a 26, el movimiento giratorio mediante la fijación del cabezal de la rueda de pulido se proporcionó mediante el eje de rotación 324. Como resultado, se puede ver que el punto de contacto entre la rueda 342 y la pieza de trabajo 244 es constante y siempre está al final de la línea de referencia 340. Esto facilita el mantenimiento de las condiciones óptimas de aplicación de refrigerante en todas las partes de la operación de pulido, ya que la posición boquilla de refrigerante óptima está fija en relación con el brazo de soporte 230.

60 Las figuras 27 a 32 se han tomado del documento WO2009/093064. Ilustran las capacidades de la máquina herramienta descrita en la misma, que se pueden alcanzar utilizando su configuración de dos ejes de rotación de la máquina paralelos, con un eje lineal montado en 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 la presente invención por medio de un tercer eje giratorio. En consecuencia, una descripción de estas figuras se incluye a continuación.

65 En la máquina herramienta representada en la figura 27, el eje lineal de la máquina está montado sobre un eje giratorio. Esto permite que los soportes 100, 102 y la fijación 112 estén orientados de tal manera 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 de la fijación 112 a lo largo de su eje lineal de máquina solamente.

- 5 El movimiento respecto a 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.

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

15 El mantenimiento de "normal a la herramienta" es un requisito común para 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 en la herramienta permanezca en contacto con el componente que se está mecanizando en todo momento.

20 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 rueda de pulido 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 rodillos.

25 La figura 30 ilustra cómo se puede emplear una rueda de pulido preformada 60 usando una máquina herramienta que es una realización de la invención para formar perfiles predeterminados en una pieza de trabajo 24.

La base de la máquina puede estar formada de granito, hierro fundido o de hormigón polimérico, por ejemplo y su fabricación puede ser relativamente barata en comparación con una base para una máquina herramienta existente que emplea ejes lineales largos.

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

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

40 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.

45 Al mover los dos ejes de rotación y el eje lineal es posible (usando 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 dependiendo 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. Utilizando una óptica de medición de errores angulares:

50 i. Girar 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 requerido para mecanizar el componente más largo. El eje lineal también estará vinculado con el eje principal para mantener una posición constante del rayo láser en la óptica de medición.

ii. Los errores angulares afectarán a:

- 55 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 se puede compensar mediante la modificación del movimiento del eje secundario respecto al eje principal.

60 iv. Este procedimiento minimizará los errores del eje de rotación (de cada codificador) y cualquier error giratorio adicional, por ejemplo, de errores de inclinación del eje del cojinete y el error de guiñada del eje lineal.

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

i. Repetir el procedimiento de movimiento para (I).

ii. Los errores de la posición lineal afectarán a la posición axial de la característica que se está mecanizando.

65 iii. Si la posición axial de una característica es de mayor prioridad que el paralelismo de la característica que se está mecanizando, a continuación, los errores de posición de la medición pueden compensarse (utilizando el eje de

rotación secundario). Esto se añadirá ligeramente a los errores de posición angular que se minimizan durante el procedimiento I.

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. El 1 segundo de arco sobre una característica de 50 mm de largo daría lugar a una conicidad de 0,25 micrómetros.

III. Usando 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 está mecanizando.

iii. Los errores de rectitud horizontal medida se pueden compensar directamente para el uso del eje lineal.

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

Preferiblemente, la posición de rotación de cada eje de rotación se monitoriza usando sensores de rotación respectivos separados 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 luego medir y permitir la corrección de errores de movimiento de la máquina causados por los sensores de control de operación.

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 de rotación) como un codificador secundario para minimizar los errores de posición lineales causados por errores del codificador giratorio.

Esto se puede conseguir aplicando principios similares a los empleados en los procedimientos de calibración anteriores.

Las realizaciones preferidas de la máquina herramienta utilizan codificadores giratorios para sincronizar el movimiento entre dos ejes de rotación. Puede ser posible mantener alrededor de 1 segundo de arco de error de posición absoluta entre los dos ejes. Un error de posición giratoria produce un error lineal en un radio determinado 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 de rotación al extremo del componente puede ser de aproximadamente 900 mm, por ejemplo. Esto se traduce en un error de posición lineal (en la dirección axial del componente) de aproximadamente 3 micrómetros por segundo de arco de error.

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 deducida a partir de un codificador giratorio).

Un ejemplo de un codificador láser de largo alcance lineal es un RLE10, tal como se comercializa por Renishaw (RTM). Un codificador de este tipo se podría utilizar para proporcionar retroalimentación de posición lineal a medida que los dos ejes de rotación se mueven entre sí. Por lo tanto, los errores de posición axial resultantes entre la herramienta de corte y el componente de los errores del codificador giratorio se pueden medir directamente como errores de posición lineal.

La configuración del codificador lineal sería similar a la mostrada anteriormente en las figuras 31 y 32 para el procedimiento de calibración de la máquina. Sin embargo, el láser del codificador y el objetivo deberían encerrarse en una cubierta (no mostrada en las figuras), lejos de (probablemente por debajo de) la posición de contacto de mecanizado.

Las señales de salida de los sensores empleados durante el procedimiento de calibración se alimentan 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 cualesquiera correcciones que deben aplicarse a la configuración de control de la máquina herramienta para minimizar cualesquiera errores de posicionamiento detectados.

Aunque las realizaciones descritas con referencia a los dibujos son máquinas de pulido, se apreciará que una amplia gama de operaciones relacionadas con el mecanizado pueden implementarse de acuerdo con la invención. Además de las operaciones de pulido, otras aplicaciones son viraje o esmerilado por ejemplo y la inspección de los componentes mecanizados.

Se apreciará que las referencias en este documento a orientaciones relativas ortogonales o paralelas y 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:
una base de máquina (10);
- 5 un primer soporte (200) previsto en un primer eje de rotación de la máquina, estando montado el primer eje de rotación de la máquina en la base en una posición fija respecto a la base;
- un segundo soporte (202) previsto en un segundo eje de rotación de la máquina, estando montado el segundo eje de rotación de la máquina en la base en una posición fija respecto a la base, en el que el eje de rotación del segundo eje de rotación de la máquina es paralelo y está separado lateralmente del eje de rotación del primer eje de rotación de la máquina;
- 10 una fijación realizada mediante un brazo de soporte (208) en el segundo soporte; y
una disposición de control operable para controlar la orientación del primer soporte respecto al eje de rotación del primer eje de rotación de la máquina, la orientación del segundo soporte respecto al eje de rotación del segundo eje de rotación de la máquina,
- 15 **caracterizada porque**
el brazo de soporte es desplazable respecto al segundo soporte alrededor de un eje giratorio (210), con la fijación separada del eje giratorio mediante el brazo de soporte; y
la disposición de control es operable para controlar también la posición de rotación de la fijación alrededor del eje giratorio, para gobernar la posición y la orientación del primer soporte y la fijación entre sí.
- 20
2. Una máquina herramienta de la reivindicación 1, en la que el eje giratorio es ortogonal al eje de rotación del segundo eje de rotación de la máquina.
3. Una máquina herramienta de la reivindicación 1, en la que el eje giratorio es paralelo al eje de rotación del segundo eje de rotación de la máquina.
- 25
4. Una máquina herramienta de cualquier reivindicación anterior, en la que las posiciones de rotación de los soportes se pueden bloquear selectivamente con relación a la base de la máquina.
- 30
5. Una máquina herramienta de cualquier reivindicación anterior, en la que cada soporte incluye un sensor de rotación para proporcionar una señal relacionada con la posición de rotación del respectivo soporte con relación a la base de la máquina y la disposición de control es operable 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.
- 35
6. Una máquina herramienta de cualquier reivindicación anterior, en la que el movimiento del brazo de soporte respecto al segundo soporte alrededor del eje de rotación se proporciona mediante un cojinete giratorio.
7. Una máquina herramienta de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en la que el movimiento del brazo de soporte respecto al segundo soporte alrededor del eje de rotación se proporciona mediante una junta flexible.
- 40
8. Una máquina herramienta de la reivindicación 7, en la que la junta flexible es desplazable con relación a la base a lo largo de un eje lineal paralelo a la base.
9. Una máquina herramienta de cualquier reivindicación anterior, en la que dos fijaciones de herramientas se llevan mediante uno de los soportes, siendo cada una desplazable con relación al soporte independientemente del otro y cada fijación de la herramienta se lleva mediante un respectivo brazo de soporte en el segundo soporte, siendo cada brazo de soporte independientemente desplazable respecto al segundo soporte alrededor de un eje de rotación respectivo.
- 45
10. Una máquina herramienta de cualquiera de la reivindicación 9, en la que al menos una de las fijaciones de la herramienta es también desplazable con relación a un soporte a lo largo de un eje lineal.
- 50
11. Una máquina herramienta de cualquier reivindicación anterior, en la que la base de la máquina comprende un soporte central situado entre los ejes de la máquina y los ejes de la máquina están montados en lados opuestos del soporte.
- 55
12. Un procedimiento de mecanizado de una pieza de trabajo utilizando una máquina herramienta según cualquier reivindicación anterior, que comprende las etapas de:
- 60 (a) montar una pieza de trabajo en uno de los soportes;
(b) montar una herramienta de corte en el otro soporte;
(c) rotar los soportes para presentar una porción seleccionada de la pieza de trabajo a la herramienta de corte; y
(d) mecanizar la porción seleccionada de la pieza de trabajo con la herramienta de corte.
13. Un procedimiento de la reivindicación 12, que incluye las etapas adicionales de:
- 65 (e) rotar los soportes en direcciones opuestas y mover la pieza de trabajo y/o la herramienta de corte en relación con

el respectivo soporte para acoplar una segunda porción de la pieza de trabajo con la herramienta de corte; y
(f) mecanizar la segunda porción de la pieza de trabajo con la herramienta de corte.

- 5 14. Un procedimiento de mecanizado de una pieza de trabajo usando una máquina herramienta de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, que comprende las etapas de:
- (a) montar una pieza de trabajo que tiene un eje longitudinal sobre uno de los soportes;
 - (b) montar una rueda de pulido en el otro soporte;
 - (c) rotar el otro soporte de tal manera que el eje de rotación de la rueda de pulido no sea paralela respecto al eje longitudinal de la pieza de trabajo; y
 - 10 (d) pulir la pieza de trabajo con la rueda de pulido con el eje de rotación de la rueda de pulido en un ángulo respecto al eje longitudinal de la pieza de trabajo.
- 15 15. Un procedimiento de la reivindicación 12, en el que la herramienta tiene un eje de referencia, el primer soporte se mueve respecto al eje de rotación del primer eje de rotación de la máquina, el segundo soporte se mueve respecto al eje de rotación del segundo eje de rotación de la máquina y la fijación se mueve con relación al eje giratorio, de tal manera que un perfil predeterminado se mecaniza en la pieza de trabajo mediante la herramienta mientras se mantiene el eje de referencia de la herramienta perpendicular a dicho perfil.
- 20 16. Un procedimiento de calibración de una máquina herramienta de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, que comprende las etapas de:
- (a) montar una fuente de luz láser en uno de los soportes;
 - (b) emitir un rayo láser desde la fuente de luz que sea incidente sobre un dispositivo óptico soportado por el otro soporte;
 - (c) monitorizar la trayectoria del rayo láser respecto a las posiciones de los soportes según lo medido mediante
 - 25 respectivos sensores de rotación;
 - (d) calcular los errores de posicionamiento; y
 - (e) calibrar la disposición de control para reducir los errores.

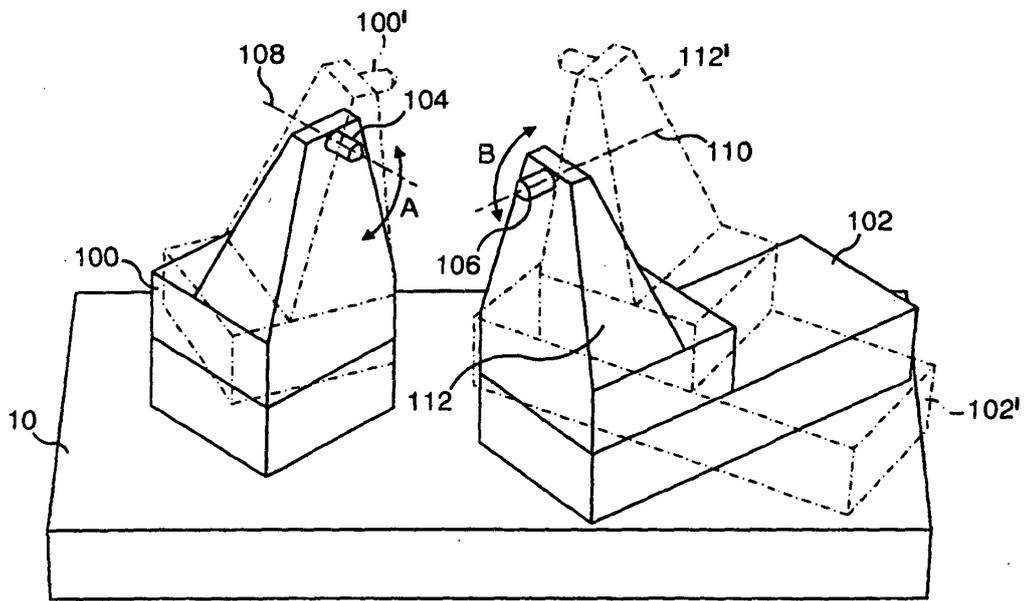


FIG. 1

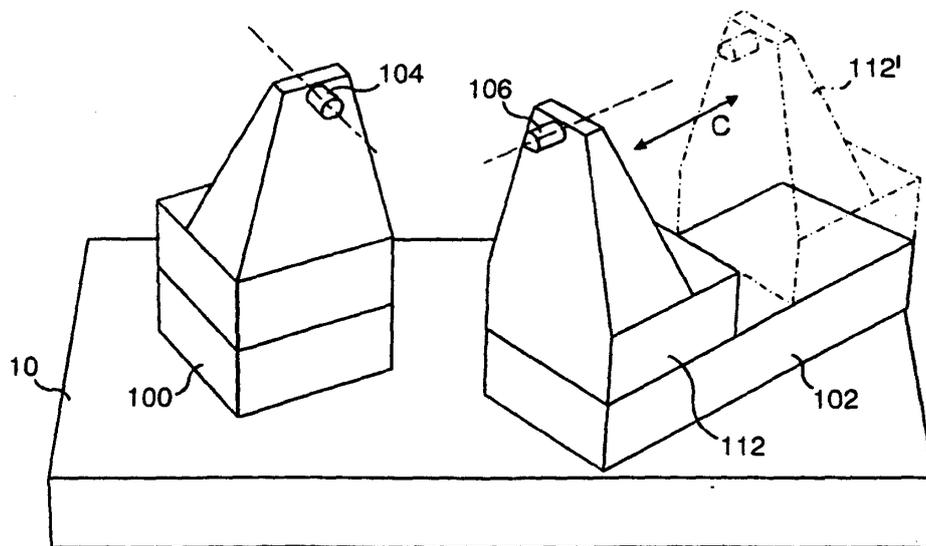


FIG. 2

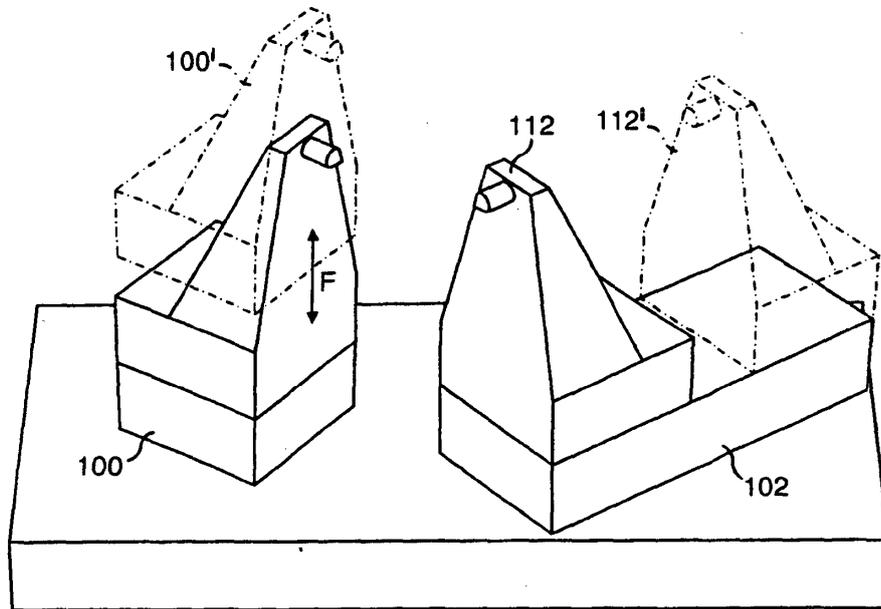


FIG. 3

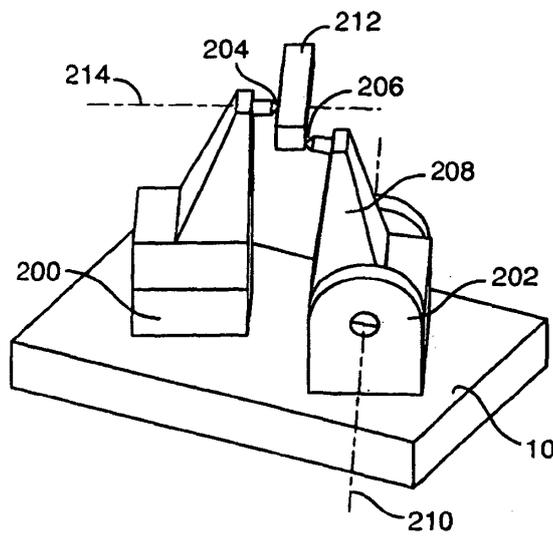


FIG. 4

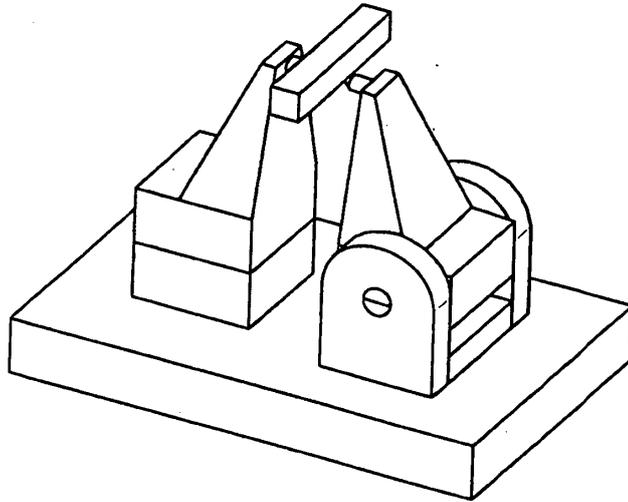


FIG. 5

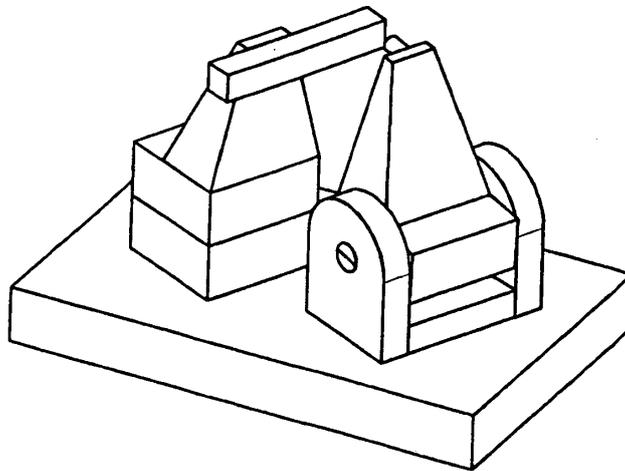


FIG. 6

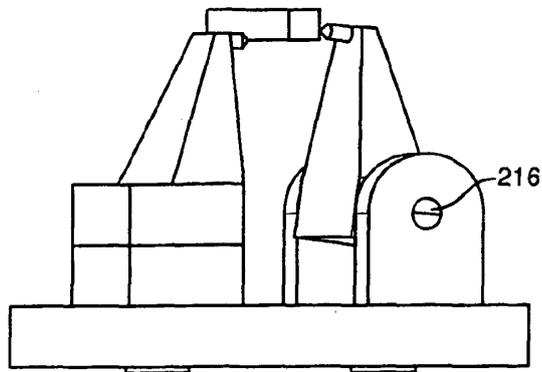


FIG. 7

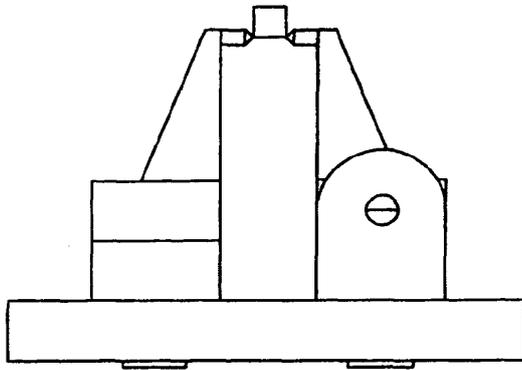


FIG. 8

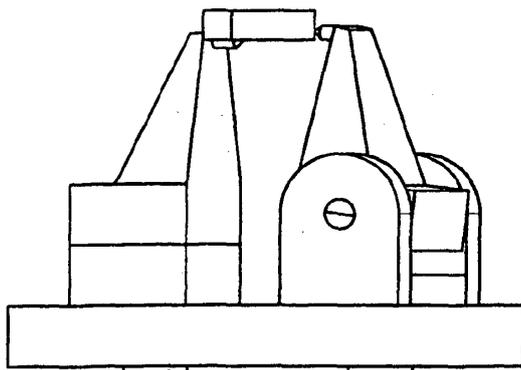


FIG. 9

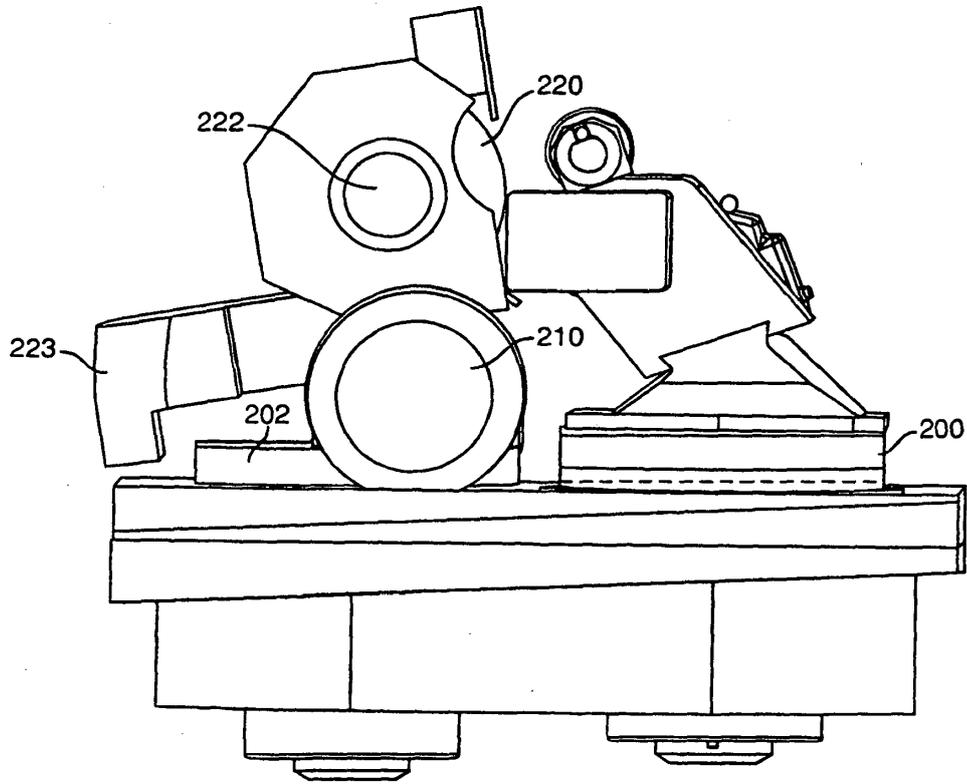


FIG. 10

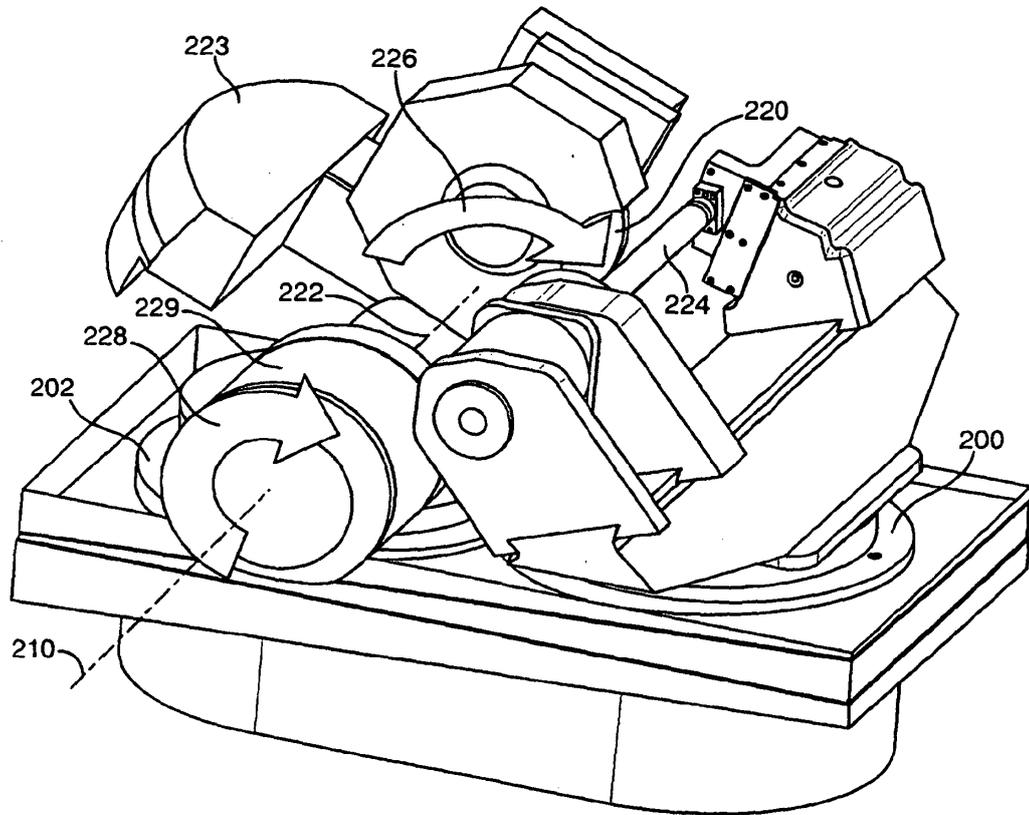


FIG. 11

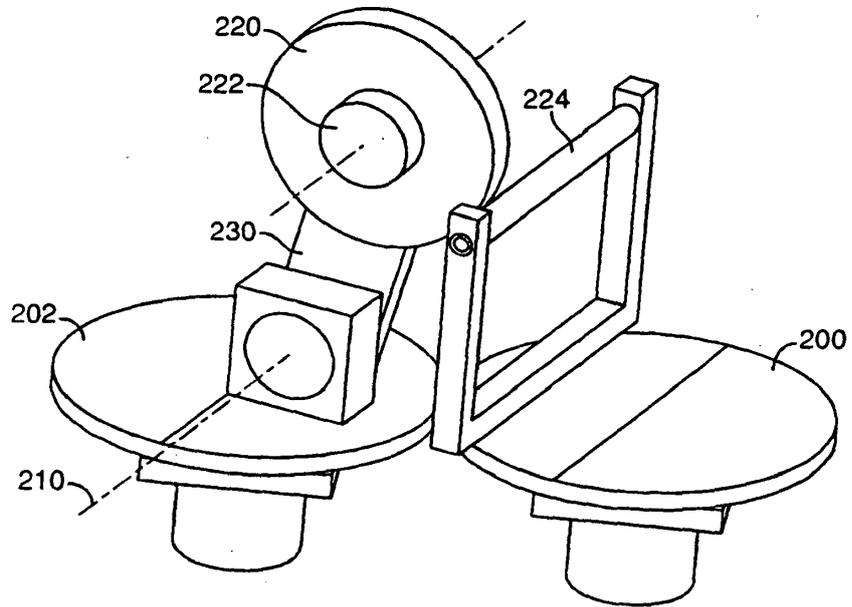


FIG. 12

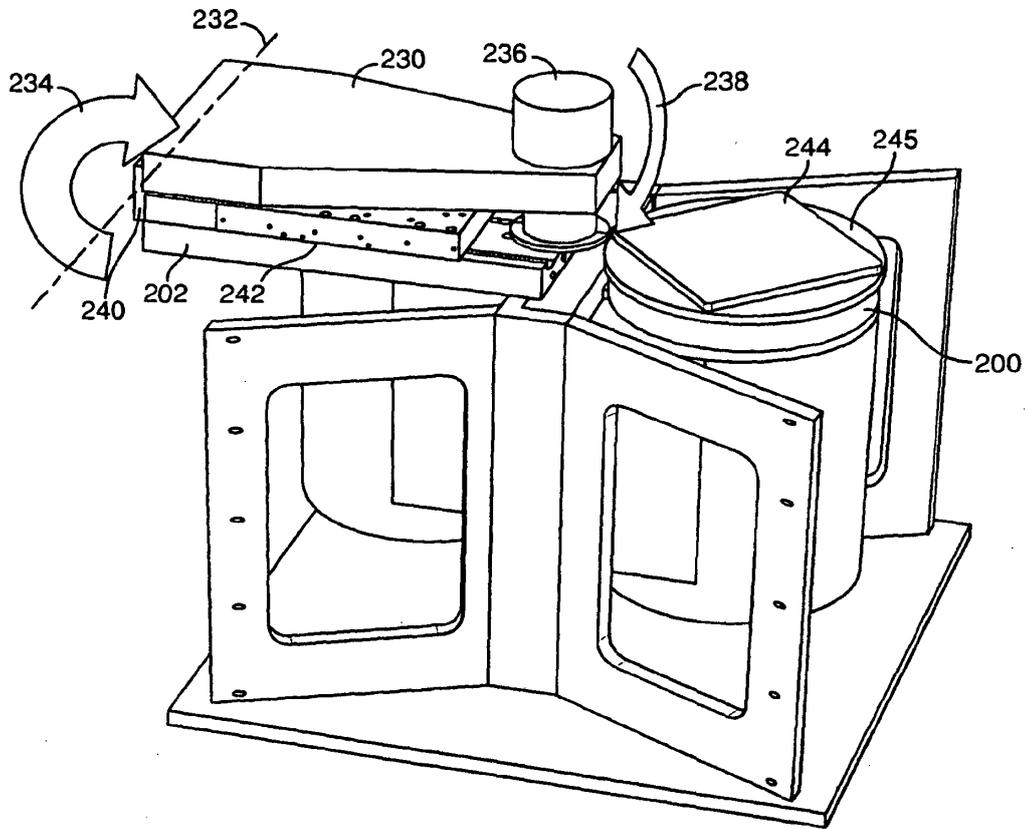


FIG. 13

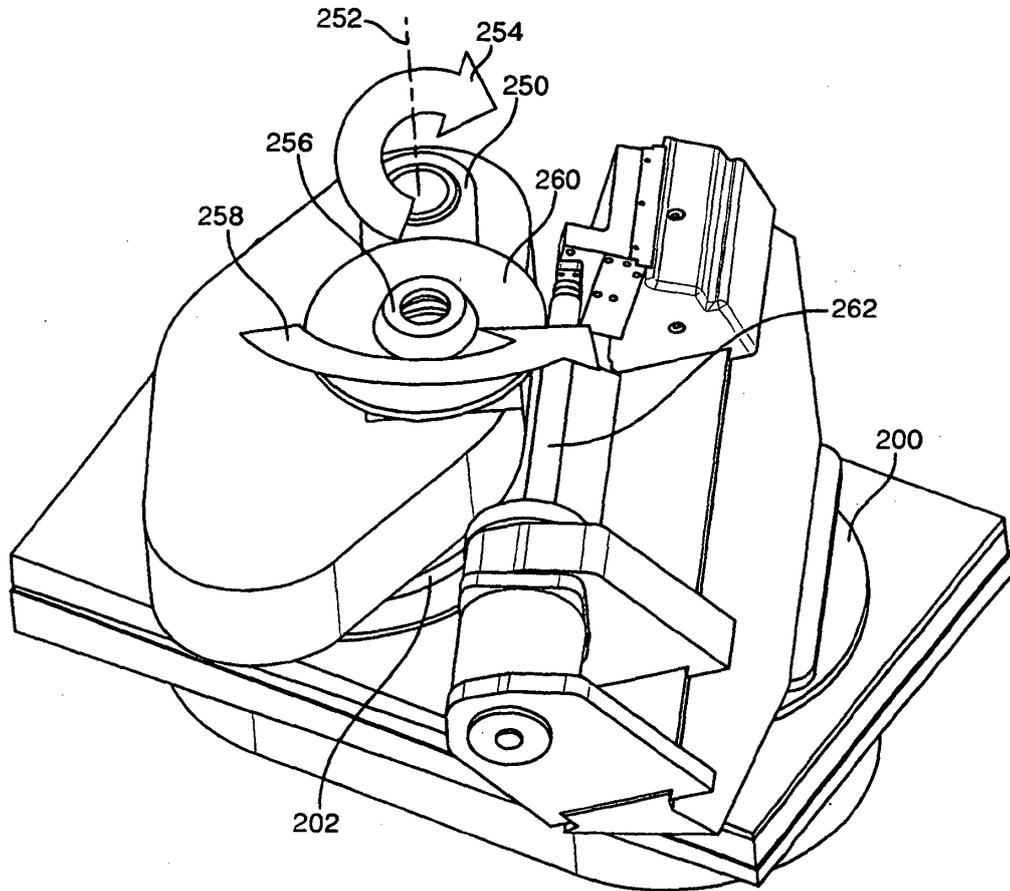


FIG. 14

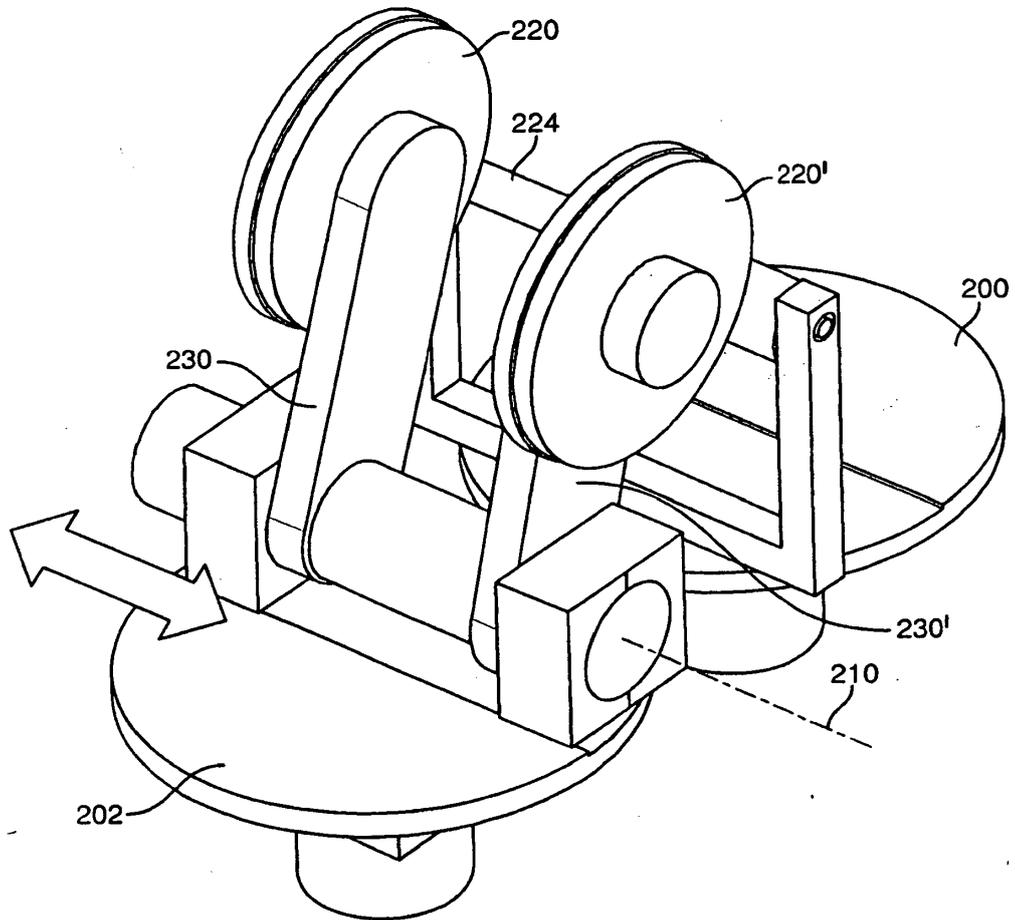


FIG. 15

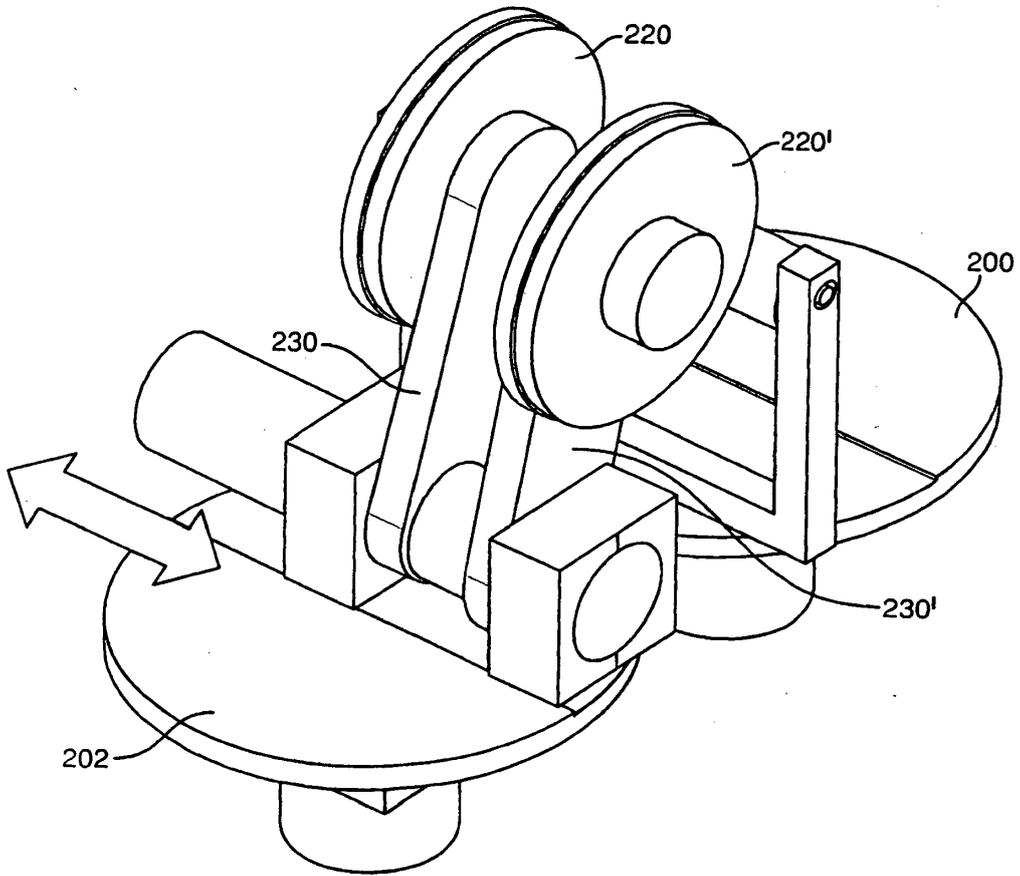


FIG. 16

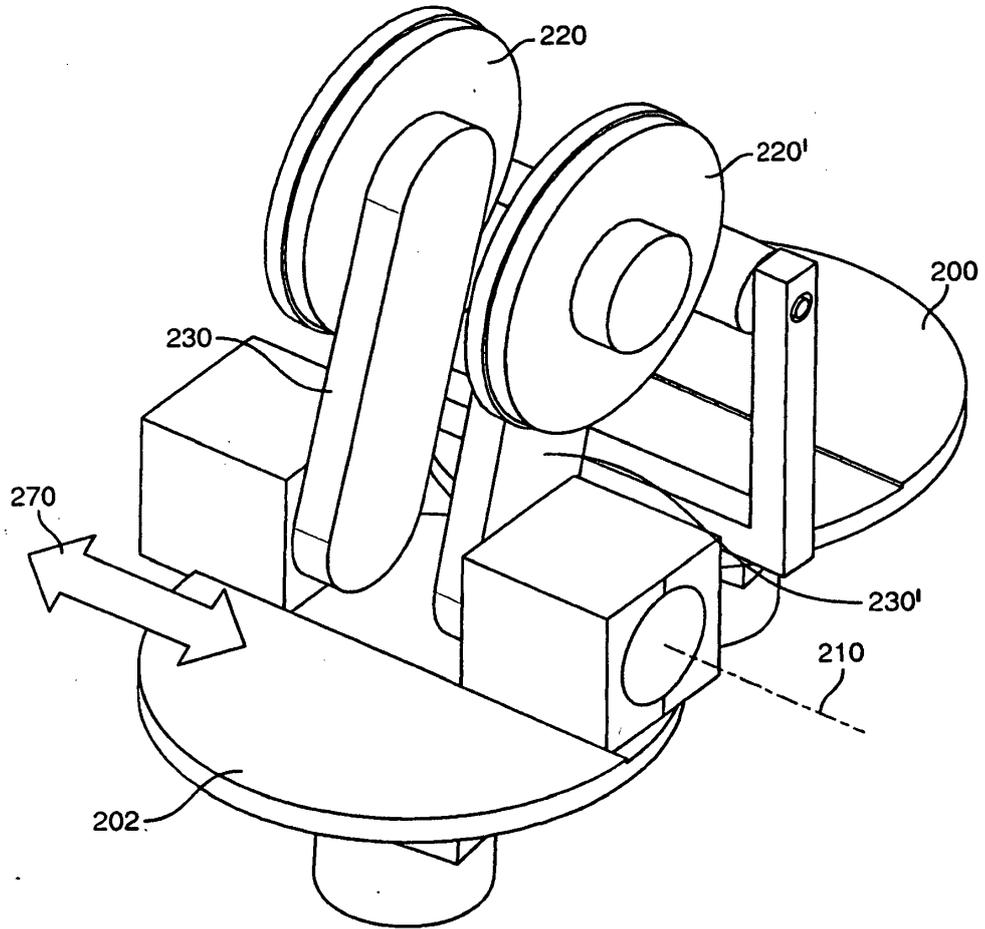


FIG. 17

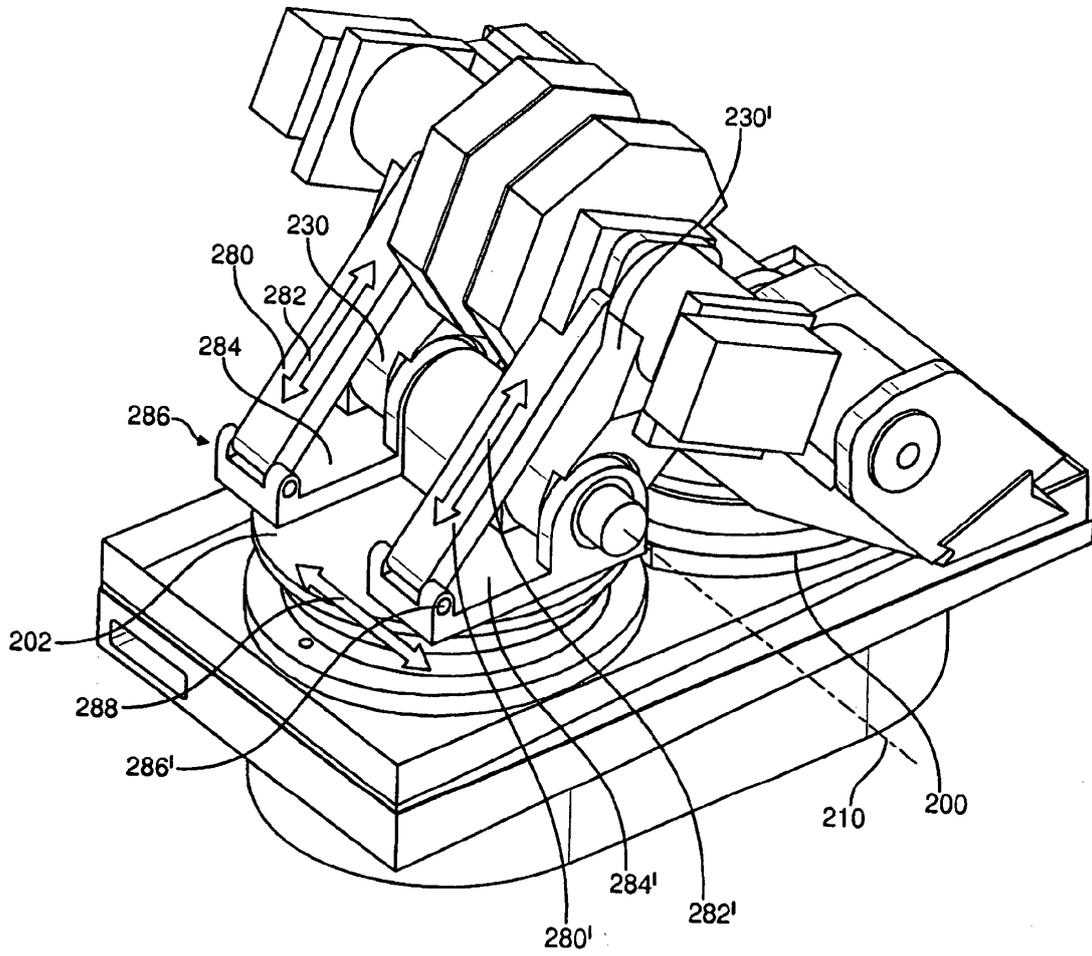


FIG. 18

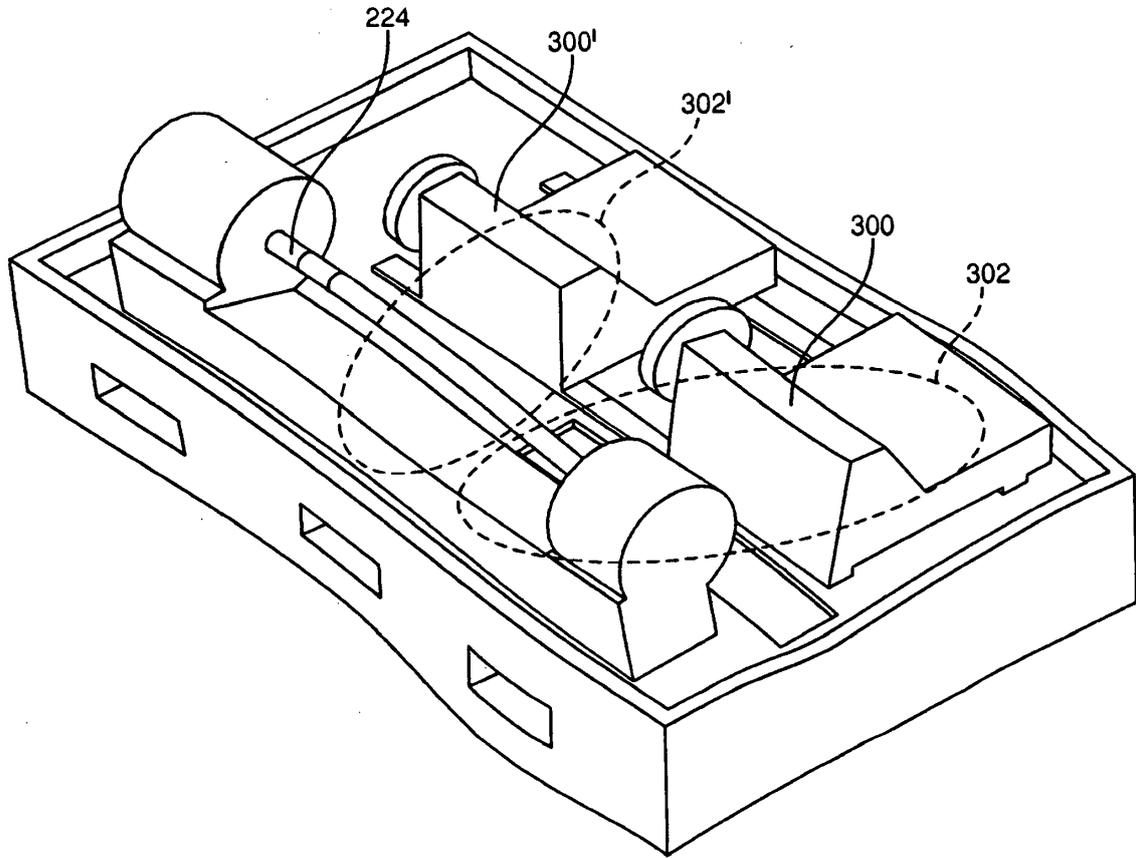


FIG. 19

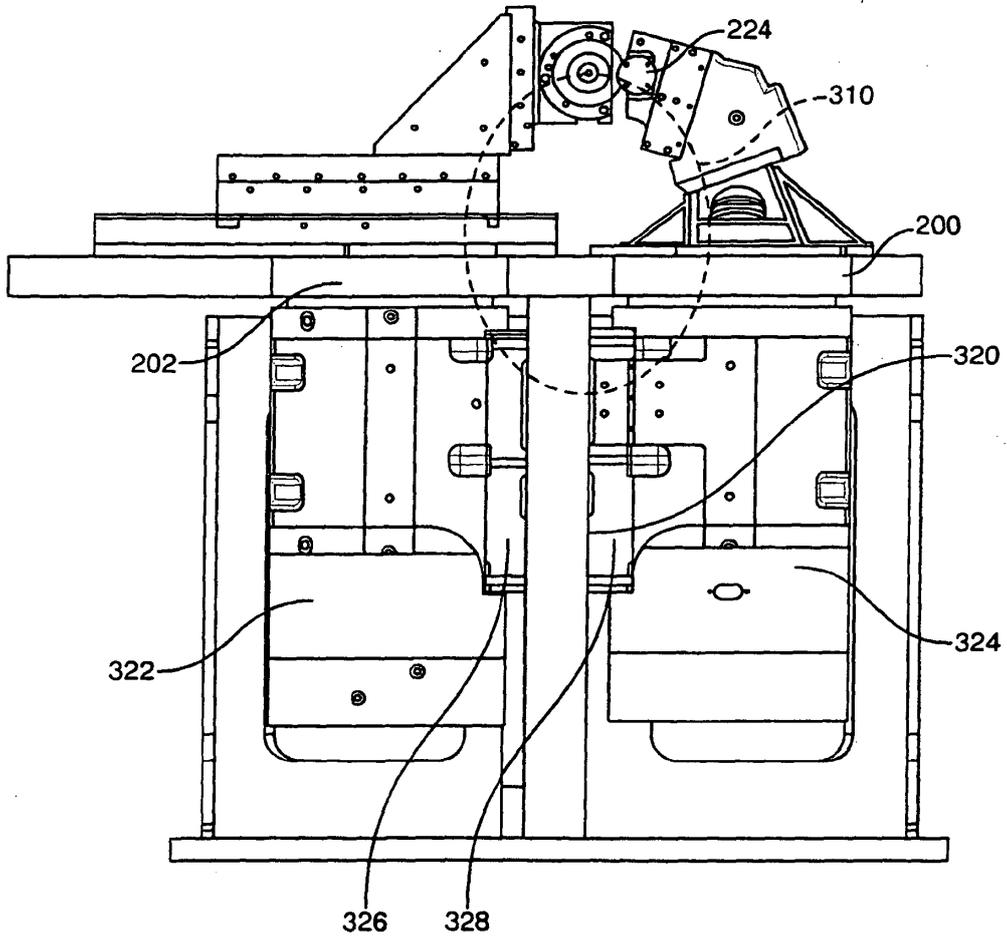


FIG. 20

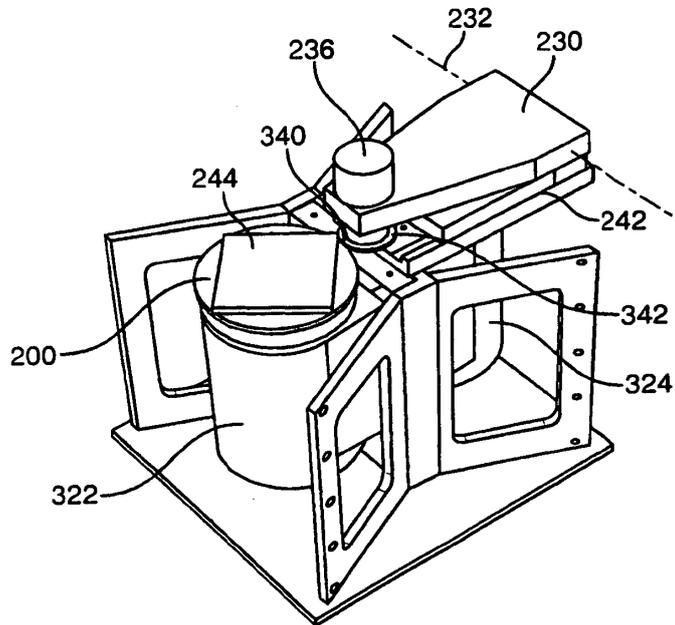


FIG. 21

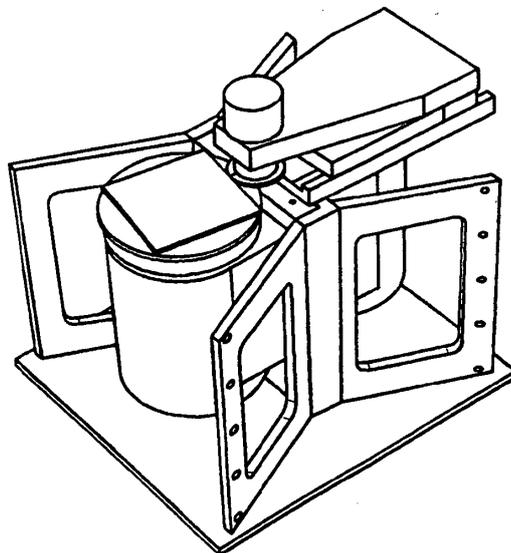


FIG. 22

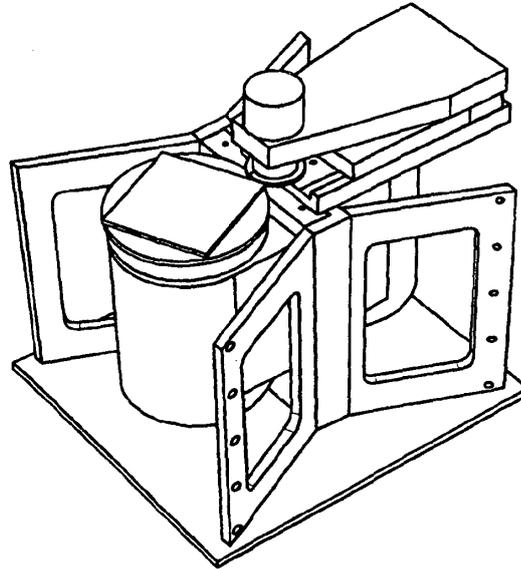


FIG. 23

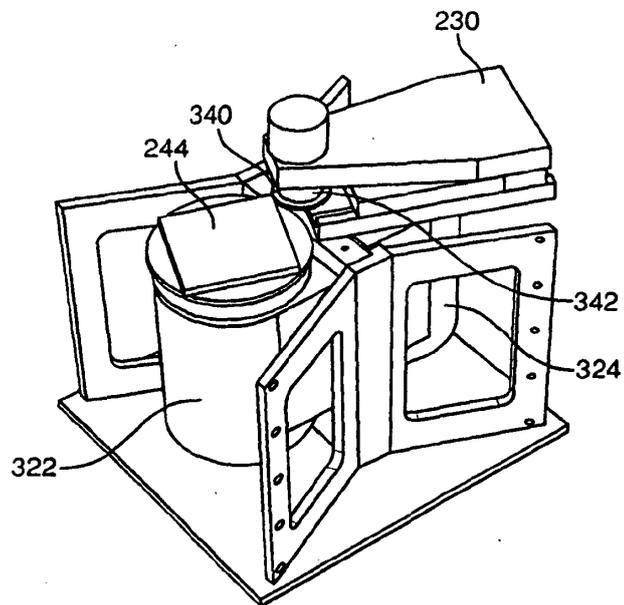


FIG. 24

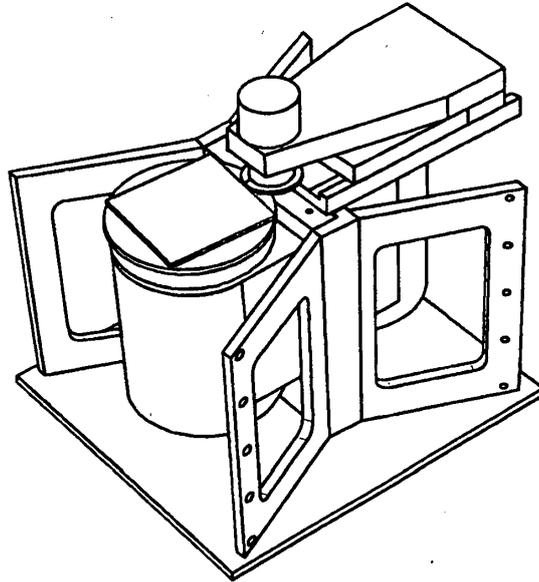


FIG. 25

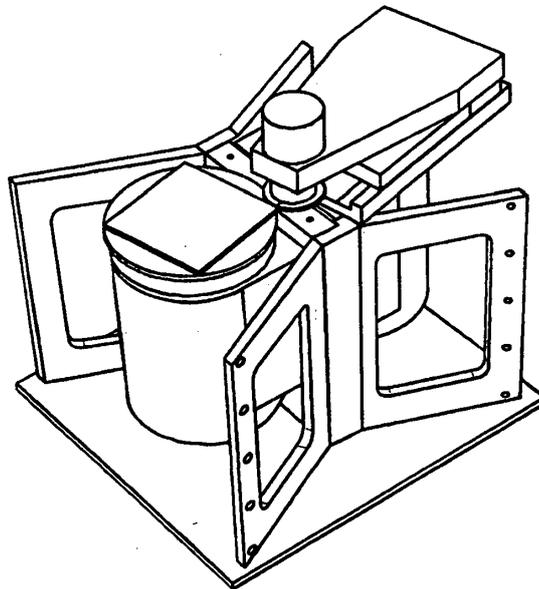
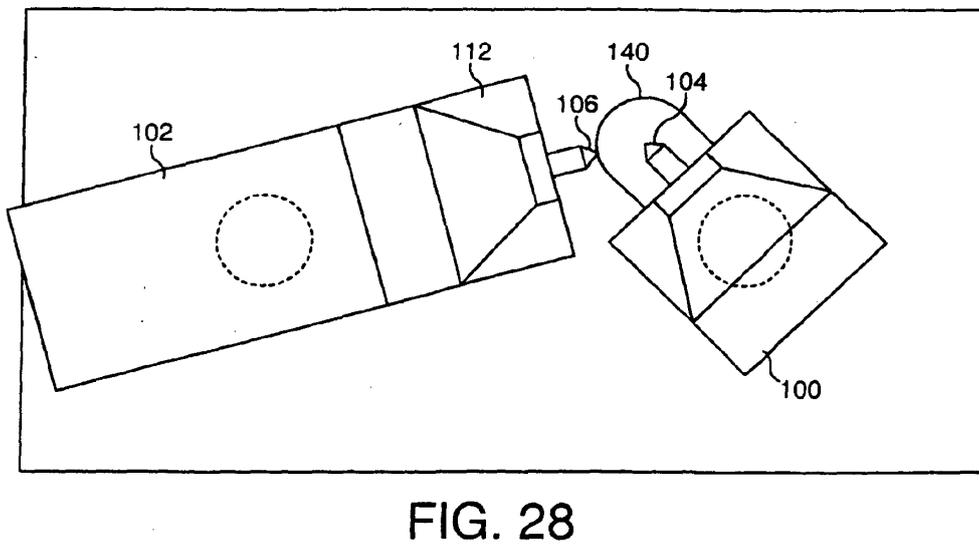
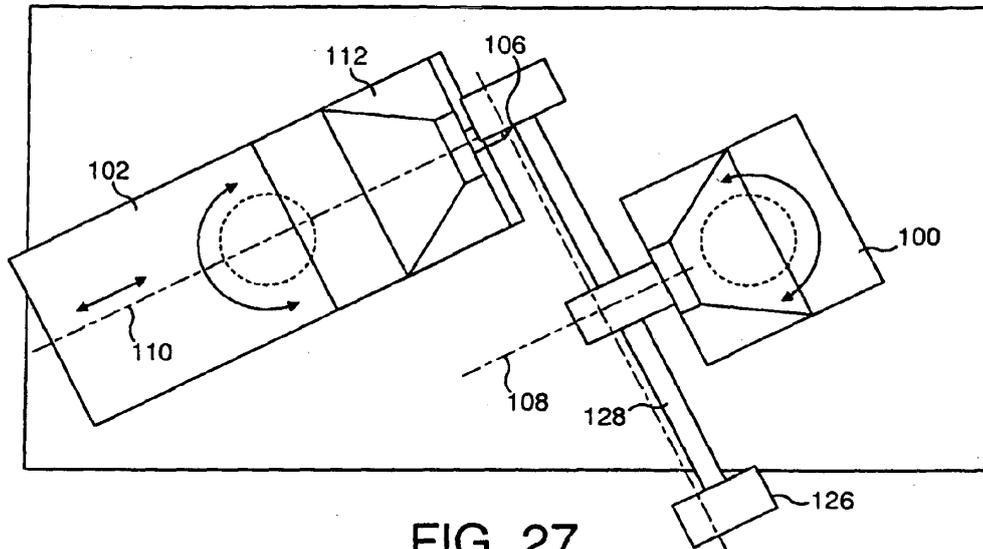


FIG. 26



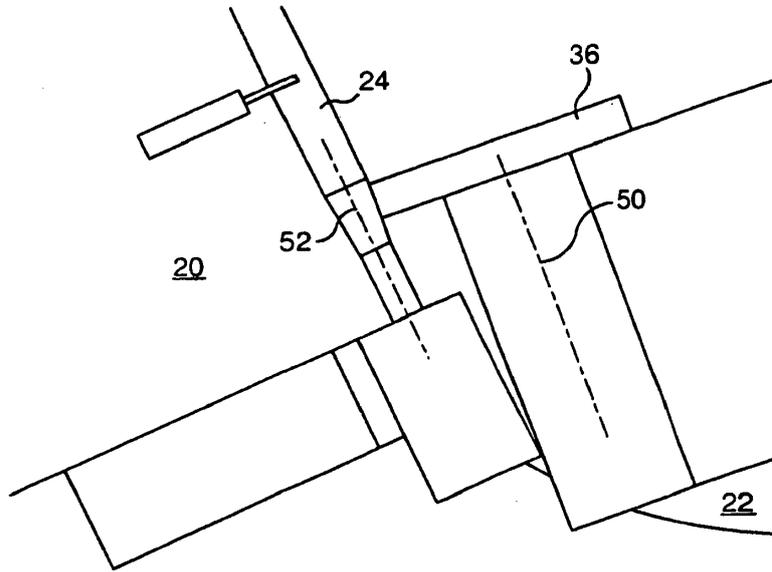


FIG. 29

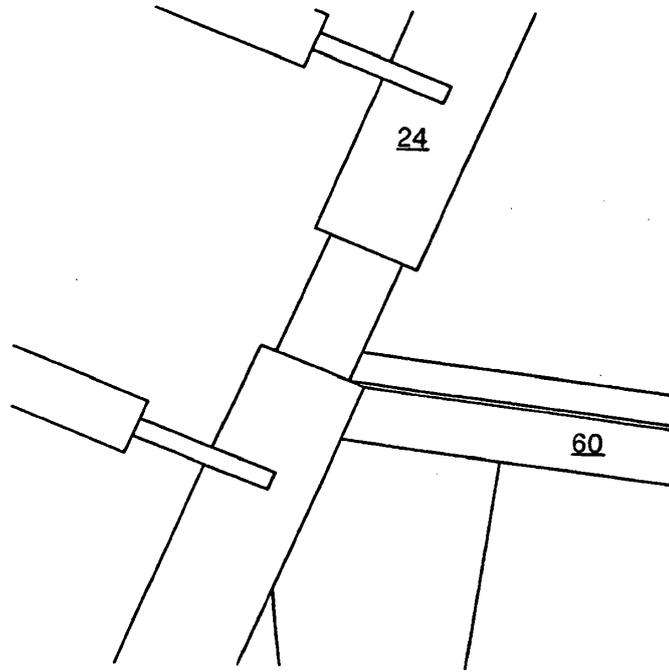


FIG. 30

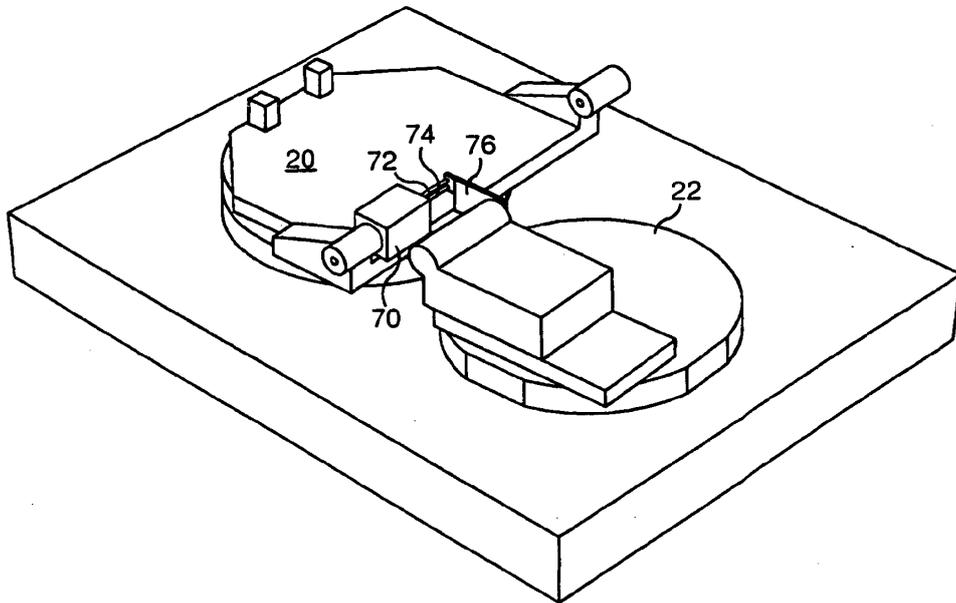


FIG. 31

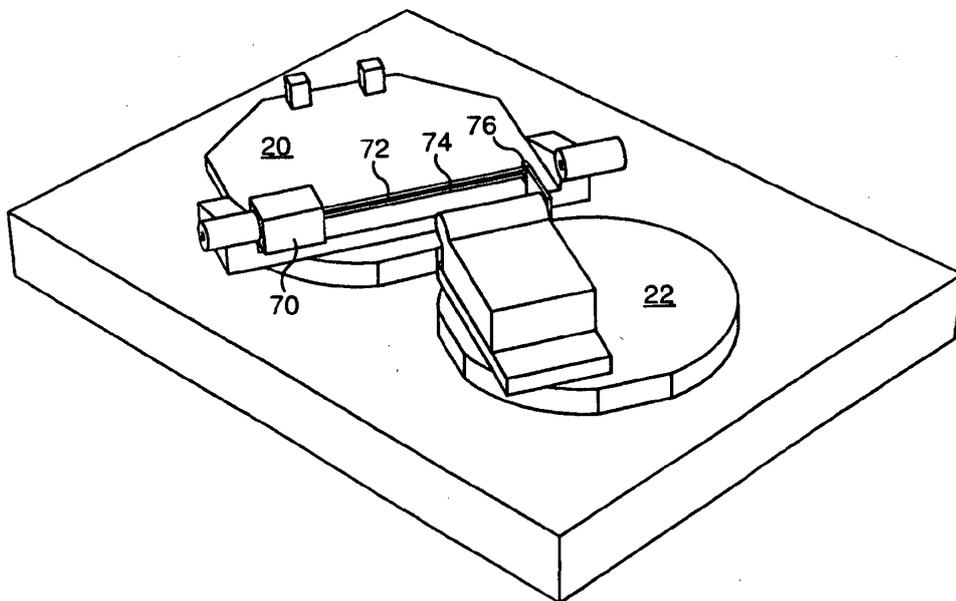


FIG. 32