

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 381 928**

51 Int. Cl.:
B23Q 1/48 (2006.01)
B24B 19/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **09703233 .8**
96 Fecha de presentación: **21.01.2009**
97 Número de publicación de la solicitud: **2265408**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **29.12.2010**

54 Título: **Máquinas herramienta y métodos de funcionamiento de las mismas**

30 Prioridad:
25.01.2008 GB 0801366
27.06.2008 GB 0811759

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.06.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.06.2012

73 Titular/es:
Cinetic Landis Limited
Eastburn Works Skipton Road Cross Hills
Keighley, Yorkshire BD20 7SD, GR

72 Inventor/es:
STOCKER, Mark, Andrew

74 Agente/Representante:
Linage González, Rafael

ES 2 381 928 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 métodos de funcionamiento de las mismas

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

10 Existen muchas aplicaciones de máquinas herramienta que requieren que se controle el movimiento de dos puntos en el espacio relativamente entre sí, tanto en posición como en ángulo, sobre un área o volumen de barrido. Es deseable minimizar el número de ejes de la máquina involucrados para optimizar este control. Es deseable asimismo mantener un bucle de rigidez muy apretado entre los dos puntos, e idealmente un valor constante de la rigidez en el bucle a medida que se ajustan la posición y el ángulo de los puntos. Esto mejora el nivel de precisión y repetitividad del movimiento.

15 Las máquinas herramienta existentes utilizan a menudo largos carriles lineales de guía para permitir el contacto entre una herramienta de corte (tal como una muela) y una pieza de trabajo en cualquier posición a lo largo de la longitud de la pieza de trabajo. Los carriles lineales de guía más cortos pueden ser transportados por los carriles más largos con el fin de facilitar el movimiento de una herramienta de corte hacia o desde la pieza de trabajo, en una dirección ortogonal a los carriles largos. Estos carriles (o ejes) apilados introducen una elasticidad indeseada, reduciendo la rigidez entre la herramienta y el componente. Esto conduce a su vez a una reducción en la calidad del componente, en términos de su precisión dimensional y acabado. Asimismo, los carriles lineales de guía largos necesitan ser típicamente al menos tan largos como la pieza de trabajo que va a ser mecanizada. Esto da como resultado a menudo un eje con una mala relación de soporte, en el que el eje es más elástico en la dirección de la fuerza de corte. Este problema se complica cuando se apilan un eje de alimentación ortogonal sobre el eje largo.

25 El uso de ejes apilados es problemático igualmente si se emplean codificadores de posición sobre el eje. Cuanto más alto sea el apilamiento de ejes, mayor la distancia entre los puntos de interés y los codificadores. Esto da como resultado errores de "desfase de Abbe", que reducen la precisión intrínseca de la máquina herramienta.

30 Además, el uso de ejes lineales apilados ortogonales requiere un alineamiento laborioso y caro para mantener la ortogonalidad entre los ejes y para minimizar los errores de paso, guiñada y rodadura para cada eje.

35 En los documentos US-4.115.956 y EP-A-0305735 se divulgan máquinas herramienta que incluyen ejes lineales apilados. Un aparato de generación de lentes que utiliza un movimiento giratorio de componentes sin un sistema de camino lineal se describe en el documento US-5.231.587.

Estos ejes lineales largos requieren asimismo cubiertas telescópicas largas que son caras, introducen fricción, son propensas a fallos y además pueden influir en la precisión del movimiento lineal (por ejemplo su rectitud, precisión de posicionamiento y repetitividad).

40 La presente invención busca superar los problemas anteriores asociados con el uso de carriles de guía largos, y reducir la necesidad de ejes perpendiculares, apilados.

La presente invención está dirigida a una máquina herramienta que comprende:

45 una base de máquina;

un primer soporte dispuesto sobre un primer eje de giro de la máquina montado sobre la base en una posición fija con relación a la base;

50 un segundo soporte dispuesto sobre un segundo eje de giro de la máquina, en el que el segundo eje de giro es paralelo al primer eje de giro y separado lateralmente del mismo, y transporta una montura desplazable con relación al segundo soporte a lo largo de un primer eje lineal de máquina ortogonal al segundo eje de giro; y

55 un conjunto de control accionable para controlar la orientación del primer soporte sobre el primer eje de giro, y la orientación de la montura con relación al segundo eje de giro y su posición a lo largo del eje lineal, de modo que gobierne la posición y orientación del primer soporte y de la montura relativamente entre sí.

De acuerdo con la invención, el segundo eje de giro de la máquina está montado sobre la base en una posición fija con relación a la base.

60 Esta configuración permite controlar la posición y orientación relativas de puntos respectivos transportados por los soportes y ejes de referencia que pasan a través de aquellos puntos. Esto evita la necesidad de ejes lineales largos y un eje lineal apilado, contrarrestando así los problemas asociados con las configuraciones conocidas discutidas anteriormente.

65 Un conjunto de ejes apilados da como resultado a menudo bucles de rigidez elástica entre los dos puntos de interés.

Además, habitualmente se da el caso de que ejes lineales sean bastante menos rígidos en una dirección que es ortogonal a la dirección de movimiento. Se pueden configurar ejes de giro de tal modo que la rigidez sea uniforme en todas las direcciones radiales radialmente hacia fuera de los ejes de giro. Esto da como resultado un bucle de rigidez más predecible y a menudo una mayor rigidez, lo que a su vez da como resultado un nivel más alto de precisión y repetitividad. De acuerdo con modos de realización de la invención, unos ejes de giro proporcionan la posición primaria y el control de ángulo entre los dos puntos de interés para permitir propiedades de rigidez axisimétrica en los ejes primarios de control de movimiento.

En contraste con las máquinas herramienta existentes, los ejes de giro pueden ser montados en una mesa o lecho plano relativamente barato, formado de granito, hierro fundido o cemento plástico, por ejemplo.

Además, el uso de soportes giratorios significa que las piezas de trabajo, herramientas de corte, ruedas de reacondicionamiento y similares pueden ser desplazadas a una posición accesible, por ejemplo en el frente de la máquina herramienta, para operaciones de carga y/o sustitución.

En máquinas herramienta existentes, el uso de ejes lineales largos requiere cables de alta potencia y servicio que pueden influir en el funcionamiento de la máquina y conducir a movimientos erróneos del eje, errores inversos, fuerzas de fricción variables y desalineamientos del eje. En contraste, en una máquina herramienta de acuerdo con la presente invención, los soportes giratorios pueden ser acoplados a bobinas de cable suspendidas desde arriba, evitando el arrastre lineal de cables.

Además, en lugar de las cubiertas telescópicas largas utilizadas con ejes lineales largos, el uso de ejes primarios de giro en modos de realización de la invención significa que se pueden utilizar cubiertas giratorias macizas o laberintos. Estos pueden carecer de juntas de fricción y evitar cualquier influencia del movimiento de los ejes de precisión de la máquina.

Asimismo las máquinas herramienta conocidas requieren a menudo que se disponga un eje lineal adicional bajo el contracabezal con el fin de contrarrestar errores de "abocinado", provocados por el desalineamiento de los centros de la máquina con relación a los ejes lineales de la máquina. El uso de ejes de giro de acuerdo con la presente invención evita este problema.

El término "eje de la máquina" denota un eje físico de la máquina, por oposición a un eje de referencia. Cada eje de la máquina tiene dos porciones que se desplazan relativamente entre sí, alrededor o a lo largo de un eje de referencia.

La referencia a un eje de la máquina "montado sobre la base" indica aquí que una de dichas porciones de un eje de la máquina montado sobre la base está fija en posición con relación a la base.

En un modo de realización preferido, uno de los soportes proporciona un movimiento con relación a la base de la máquina a lo largo de un segundo eje lineal de la máquina paralelo a su eje de giro. Esta dimensión extra de movimiento facilita el control de la posición y orientación relativas de puntos respectivos transportados por los soportes sobre un volumen del espacio.

El movimiento de la montura puede ser en una dirección radial con respecto al eje de giro del segundo soporte. El eje lineal a lo largo del cual es movable la montura puede permitir el movimiento de una herramienta montada en el mismo hacia o desde una pieza de trabajo durante el mecanizado, y por lo tanto sólo necesita ser relativamente corto, minimizando cualquier error de desalineamiento. Con una muela montada en la montura, este modo de realización facilita los rectificadores de penetración, cónico, en ángulo y de interpolación en toda la longitud de una pieza de trabajo. Es particularmente adecuado para rectificar componentes delgados, de múltiples elementos, tales como levas y cigüeñales.

El eje longitudinal de una pieza de trabajo montada en el otro soporte puede estar separado del segundo eje respectivo, por ejemplo con la pieza de trabajo cerca de la periferia de soporte, de modo que toda su longitud sea fácilmente presentable a una herramienta en uno de los soportes. Más concretamente, el eje longitudinal de la pieza de trabajo puede estar situado en una orientación perpendicular a una línea radial que se extiende desde el eje de giro respectivo.

Los soportes pueden ser girados independientemente alrededor de sus ejes de giro respectivos. Alternativamente, pueden ser dispuestos para girar de tal modo que el movimiento de giro de un soporte en una dirección sea igualado por un giro equivalente del otro soporte, pero en la dirección opuesta.

La posición de giro de los soportes puede ser bloqueada selectivamente con relación a la base de la máquina. Por ejemplo, durante una operación de rectificado de penetración, tan sólo un eje, esto es, el eje lineal de la montura, está "vivo", haciendo que la rigidez dinámica de la máquina herramienta durante el rectificado sea significativamente superior a la de una máquina herramienta convencional que emplee sólo carriles lineales de guía. Cada eje de giro puede ser bloqueable, por ejemplo, por servo soporte, utilizando un freno, o apagando cojinetes asociados de aire o hidrostáticos, de modo que se detengan efectivamente los ejes respectivos.

En modos de realización preferidos, los soportes están soportados sobre la base de la máquina mediante cojinetes de resbalamiento y empuje. Se puede montar grandes cojinetes de empuje directamente sobre la base de la máquina para

proporcionar ejes amortiguados de elevada rigidez con una relación de soporte muy buena en todas direcciones, lo que resulta en elementos de rigidez axisimétricas. Se puede construir fácilmente una base de la máquina plana, lisa sobre la cual montar los dos planos de empuje del eje de giro.

- 5 El giro de los soportes con relación a la base de la máquina puede ser efectuado mediante motores de accionamiento directo respectivos.

10 Preferiblemente, cada soporte incluye un sensor de giro para proporcionar una señal relacionada con la posición de giro del soporte respectivo con relación a la base de la máquina. El conjunto de control puede recibir las señales de los sensores de giro y controlar las posiciones de giro de los soportes. En concreto, tal conjunto de control puede ser configurable para compensar imprecisiones en el movimiento de estos soportes durante una operación de mecanizado. Esta corrección de errores puede ser empleada, por ejemplo, para mantener la precisión del movimiento relativo entre una herramienta de corte y una pieza de trabajo, en lugar de confiar meramente en la rectitud de los ejes lineales de una máquina.

15 En un modo de implementación preferido, uno de los soportes transporta una montura de herramienta, que puede adoptar la forma de un cabezal de muela, adaptado para hacer girar una montura de muela sobre el mismo, por ejemplo. Puede estar orientado de tal modo que el eje de giro de la muela sea ortogonal al primer eje de giro, y puede estar separado del mismo.

20 Alternativamente, o además, un soporte puede transportar una herramienta tal como una herramienta de torneado, uno o más calibres, o sensores, tales como un sensor de inspección de una herramienta de pulido, por ejemplo. Se pueden proporcionar en cada soporte combinaciones de herramientas, calibres, herramientas de reacondicionamiento y similares, y seleccionarlos como sea adecuado mediante el giro del soporte respectivo.

25 Dos monturas de herramienta pueden ser transportadas por uno de los soportes de herramienta, cada una movable con relación a un soporte de herramienta independientemente de la otra a lo largo de ejes lineales, paralelos mutuamente, ortogonales al primer eje de giro. De este modo, se pueden mecanizar simultáneamente dos elementos sobre una pieza de trabajo. Al menos una de las monturas de herramienta puede ser desplazable asimismo con relación al un soporte a lo largo de un eje lineal adicional para alterar la separación de las monturas de herramienta.

30 El otro soporte se puede disponer para soportar una pieza de trabajo alargada con su eje longitudinal en un plano ortogonal a los ejes de giro de la máquina.

35 La presente invención proporciona además un método para mecanizar una pieza de trabajo utilizando una máquina herramienta como se definió anteriormente, que comprende las etapas de:

montar una pieza de trabajo en uno de los soportes;

40 montar una herramienta de corte en el otro soporte;

girar los soportes para presentar una porción seleccionada de la pieza de trabajo a la herramienta de corte; y

45 mecanizar la porción seleccionada de la pieza de trabajo por herramienta de corte.

De este modo, los ejes de giro pueden ser utilizados para llevar una herramienta de corte a la posición requerida a lo largo de una pieza de trabajo. Los ejes de giro pueden ser bloqueados a continuación y el primer eje lineal de la máquina empleado para alimentar una herramienta de corte con la pieza de trabajo.

50 El método puede incluir asimismo las etapas adicionales de:

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

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

Con la sincronización del giro de los soportes y el movimiento de la pieza de trabajo y/o la herramienta de corte con relación al soporte respectivo, una herramienta de corte puede ser desplazada a lo largo de una pieza de trabajo alargada, lo que permite la generación de perfiles complejos de componentes.

60 La presente invención proporciona asimismo un método para mecanizar una pieza de trabajo utilizando una máquina herramienta como se definió anteriormente, que comprende las etapas de:

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

65 montar una muela en el otro soporte;

girar el otro soporte de tal modo que el eje de giro de la muela no sea paralelo con respecto al eje longitudinal de la pieza de trabajo; y

5 rectificar la pieza de trabajo con la muela con el eje de giro de la muela en un ángulo respecto al eje longitudinal de la pieza de trabajo.

Se proporciona un método adicional de acuerdo con la invención, que comprende las etapas de:

10 (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

15 (c) desplazar el primer soporte con relación al primer eje de giro y la montura con relación al segundo eje de giro y el primer eje lineal de tal modo que se mecanice una superficie curva predeterminada en la pieza de trabajo mediante la herramienta mientras se mantiene el eje de referencia de la herramienta perpendicular a dicha superficie.

Se proporciona asimismo un método de calibración de una máquina herramienta como se definió anteriormente, que comprende las etapas de:

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

(b) emitir un haz láser de la fuente de luz que es incidente sobre un dispositivo óptico soportado por el otro soporte;

25 (c) monitorizar la trayectoria del haz láser con respecto a las posiciones de los soportes medidas por los sensores de giro respectivos;

(d) calcular errores de posicionamiento; y

30 (e) calibrar el conjunto de control a fin de reducir los errores.

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

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

40 La presente invención tiene un amplio abanico de aplicaciones potenciales en las cuales se necesita controlar la posición y ángulo de dos puntos relativamente entre sí en un área o volumen de barrido. En concreto, puede ser especialmente beneficiosa en el mecanizado, inspección o posicionamiento de componentes complejos que requieren un control de posición o de ángulo sobre un área o volumen de barrido. Un ejemplo específico es el torneado con punta de diamante en el que es necesario a menudo mantener una herramienta de corte en una orientación normal con relación a una superficie que está siendo mecanizada.

45 A continuación, se describirá una máquina herramienta conocida y modos de realización de la invención por medio de ejemplos con relación a los dibujos esquemáticos adjuntos, en los cuales:

50 la figura 1 es una vista en planta de una máquina herramienta de eje lineal conocida;

las figuras 2 a 8 son vistas en perspectiva de una máquina herramienta que encarna la invención para ilustrar el funcionamiento de la misma;

55 la figura 9 es una vista en planta de una máquina herramienta conocida que incluye un eje de giro montado en un eje lineal;

60 la figura 10 es una vista ampliada de parte de la figura 9;

la figura 11 es una vista en planta de una máquina herramienta que encarna la invención (incluyendo un eje lineal montado en un eje de giro) para ilustrar el mecanizado de una pieza de trabajo alargada;

65 la figura 12 es una vista ampliada de parte de la figura 11 siguiendo un movimiento lineal de la montura;

las figuras 13 a 15 son vistas en planta de una máquina herramienta que encarna la invención para ilustrar el

mantenimiento de la "herramienta normal" con relación a una superficie de mecanizado;

la figura 16 es una vista en perspectiva de una base de la máquina para su uso en la máquina herramienta que encarna la presente invención;

5 las figuras 17a y 17b son vistas en perspectiva de una máquina herramienta que encarna la invención, con detalles adicionales incluidos en la vista de la figura 18b;

10 las figuras 18a a 18c son vistas en planta de una máquina herramienta que encarna la invención mostrando etapas sucesivas del mecanizado de una pieza de trabajo alargada;

la figura 19 es una vista en planta parcial ampliada que ilustra el mecanizado de un abocinado en una pieza de trabajo;

15 la figura 20 es una vista en planta ampliada parcial que muestra un mecanizado utilizando una muela pre-formada;

la figura 21 es una vista en planta de una máquina herramienta que encarna la invención, que incluye cabezales de muela gemelos; y

20 las figuras 22a y 22b son vistas en perspectiva que muestran etapas sucesivas en un procedimiento de calibración de láser.

Debe notarse que las figuras son tan solo esquemáticas. Los mismos números de referencia se utilizan generalmente para referirse a elementos correspondientes o similares en modos de realización modificados y diferentes.

25 La figura 1 muestra el esquema de un tipo conocido de máquina herramienta de eje lineal. Esta incluye dos muelas 2, 4 para rectificar una pieza de trabajo 6 montada entre un cabezal 8 y un contrapunto 9. Cada muela es desplazable a lo largo de un eje lineal Z1, Z2 para acceder a cualquier posición axial a lo largo de la pieza de trabajo 6. Ejes lineales X1 y X2 adicionales se apilan sobre los ejes Z1 y Z2 para mover cada muela hacia o desde la pieza de trabajo, y controlar así el diámetro de los elementos mecanizados sobre la pieza de trabajo.

30 La figura 2 es una representación esquemática en perspectiva de una máquina herramienta que encarna la invención. Esta incluye una base de la máquina 10. Soportes 100, 102 primero y segundo se montan directamente sobre la base para girar alrededor de ejes de giro respectivos de la máquina que son perpendiculares al plano de la base de la máquina. Su movimiento de giro se indica respectivamente mediante las flechas A y B. Puntos 104 y 106 denotan puntos de referencia asociados con cada soporte. Cada punto tiene un eje de referencia 108, 110 que pasa a través del mismo.

35 Una montura 102 es transportada por el segundo soporte 102 y es desplazable a lo largo de un eje lineal de la máquina. El punto de referencia 104 está sobre el primer soporte, y el punto de referencia 106 está sobre la montura 112, transportada por el segundo soporte 102. El control de la posición y orientación del primer soporte y de la montura se considera aquí con referencia a los puntos 104 y 106 y sus ejes de referencia 108 y 110 asociados.

40 Las representaciones en línea discontinua 100', 102' y 112' del primer soporte, segundo soporte y montura se incluyen en la figura 2 para mostrar orientaciones diferentes de los mismos siguiendo un giro alrededor de sus ejes de giro respectivos de la máquina. Esto ilustra el movimiento para alterar el ángulo entre los ejes de referencia 108 y 110.

45 La figura 3 ilustra el movimiento de la montura 112 a lo largo de su eje lineal hasta una segunda posición 112' mostrada en línea discontinua. La flecha C denota la dirección de movimiento. Esta capacidad facilita el control de la distancia entre los dos puntos fijos 104 y 106. La combinación de dos ejes giratorios y de un eje lineal permite el movimiento controlado de los puntos tanto en posición como en ángulo sobre un área de barrido, como se ilustrará más adelante con referencia a las figuras 4 a 6.

El cuadrado S denota un área a modo de ejemplo que puede ser barrida por los dos puntos fijos 104 y 106.

50 Las figuras 4a y 4b ilustran el control de la orientación de los dos puntos en ángulo y en posición mediante el movimiento con respecto a los tres ejes. Se mantiene una relación paralela entre los ejes de referencia 108 y 110 a medida que el punto 106 se desplaza en dirección D a lo largo de un lado del cuadrado.

55 Las figuras 5a y 5b ilustran un cambio en el ángulo entre los ejes de referencia 108 y 110 mientras se mantiene una distancia constante entre los puntos de referencia 104 y 106. Este movimiento se consigue mediante el control sincronizado de los dos ejes giratorios y del eje lineal.

60 Las figuras 6a y 6b ilustran el mantenimiento de una relación paralela entre los ejes 108 y 110 mientras aumenta la separación entre estos ejes. De este modo, el punto de referencia 104 permanece en una esquina del cuadrado S, mientras el punto de referencia 106 se aleja del mismo a lo largo de un lado del cuadrado, trayectoria que está etiquetada como E en las figuras.

65

La figura 7 muestra una configuración de máquina herramienta en la cual el primer soporte 100 es desplazable asimismo a lo largo de un eje lineal de la máquina F, que es paralelo a su eje de giro. La posición del soporte que sigue el desplazamiento a lo largo de este eje se muestra mediante la línea discontinua 100'. Esta dimensión adicional del movimiento facilita el control de la posición y orientación del primer soporte y de la montura relativamente entre sí sobre un volumen de barrido.

A modo de ilustración, las figuras 8a y 8b incluyen un esbozo de un volumen V sobre el cual se puede controlar la posición y el ángulo de los dos puntos fijos 104, 106. El movimiento del soporte 100 a lo largo de su eje lineal vertical se muestra en estas figuras, en las que el punto de referencia 104 se mueve en la dirección de la flecha G hacia arriba de un borde vertical del volumen V.

El inventor ha determinado que es ventajoso montar el eje lineal horizontal de la máquina sobre el eje de giro de la máquina asociado en lugar de hacerlo del modo contrario. Una razón para esto se describirá con referencia a las figuras 9 y 10.

En la configuración mostrada en la figura 9, la montura 120 está montada de modo giratorio en el soporte 122. El soporte 122 está a su vez transportado por un eje lineal de la máquina sobre la base de la máquina 10. El soporte 124 se monta sobre un eje de giro de la máquina sobre la base. Una pieza de trabajo 126 alargada con elementos de resalto perpendiculares a su eje longitudinal 128 se monta en el soporte 124.

Con el fin de definir un elemento de resalto 130 perpendicular sobre la pieza de trabajo 126, es necesario mover el punto de referencia 132 en una dirección perpendicular al eje longitudinal 128 de la pieza de trabajo. Para optimizar el control de este movimiento, sería preferible ejercer tan sólo que un eje de la máquina desplace el punto de referencia 132 a lo largo del resalto del componente. Sin embargo, se puede observar que si el eje lineal se retirara en esta configuración, el punto 132 seguiría en su lugar la trayectoria 134 (véase la figura 10). Con el fin de seguir el resalto perpendicular del componente, los tres ejes de la máquina (dos giratorios y uno lineal) necesitarían ser sincronizados.

En contraste, utilizando una máquina herramienta que encarna la invención como se muestra en la figura 11, el eje lineal de la máquina se monta sobre un eje de giro. Esto permite que los soportes 100, 102 y la montura 112 se orienten de tal modo que los ejes de referencia 108, 110 sean paralelos antes del movimiento del punto de referencia 106 a lo largo del resalto de la pieza de trabajo. Este movimiento se consigue entonces mediante el movimiento de la montura 112 sólo a lo largo de su eje lineal de la máquina, como se muestra en la figura 12.

El movimiento con respecto a los tres ejes de la máquina puede ser interpolado con el fin de permitir el acceso por el punto de referencia 106 a la longitud de la pieza de trabajo 126 alargada.

Las figuras 13 a 15 muestran orientaciones sucesivas de los dos soportes 102, 104 y la montura 112. El punto de referencia 106 define una superficie esférica 140 equidistante del punto de referencia 104 a la vez que mantiene su eje de referencia 110 en una orientación de "herramienta normal" perpendicular con respecto a esa superficie.

El mantenimiento de la "herramienta normal" es un requerimiento común para el torneado con punta de diamante de componentes de alta precisión. A menudo es esencial (con el fin de mantener la geometría del componente y condiciones de corte constantes) que el mismo punto en la herramienta permanezca en contacto con el componente que está siendo mecanizado en todo momento.

Si la forma que está siendo mecanizada es cualquier otra distinta a plana, la posición del eje de la herramienta debe ser ajustada con relación al componente si se va a mantener la "herramienta normal".

A menudo las máquinas montan la herramienta de corte sobre un eje de giro adicional con el fin de permitir el mecanizado de "herramienta normal". El presente diseño de máquina permite la herramienta normal sin necesidad de un eje adicional.

La figura 16 muestra una plataforma de mecanizado para su uso en una máquina herramienta que encarna la invención. Dos ejes giratorios se ajustan en la base de la máquina 10. Cada eje incluye un cojinete giratorio de resbalamiento 12, un cojinete giratorio de empuje 14 grande, y un motor de accionamiento directo 16. Cada cojinete de empuje puede tener un diámetro relativamente grande (por ejemplo de 0,75 a 1 m o más), lo que lo hace extremadamente rígido. Los cojinetes giratorios de resbalamiento y empuje pueden ser aerostáticos, hidrostáticos, o similares. Los elementos de las monturas del eje pueden ser mecanizados en la base de la máquina. A la vista de la relativa simplicidad de la configuración, se pueden alinear entre sí de modo muy preciso. Se puede proporcionar asimismo un codificador de giro sobre el eje asociado con cada eje. Un soporte de la pieza de trabajo se asocia con un eje y un soporte de la herramienta con el otro.

En las figuras 17a y 17b se muestran diagramas esquemáticos que ilustran modos de realización de la invención. Un soporte 20 de la pieza de trabajo se dispone en un eje y un soporte 22 de la herramienta en el otro. Una pieza de trabajo 24 se monta entre un cabezal 26 y un contrapunto 28 en el soporte 20 de la pieza de trabajo. Una herramienta de reacondicionamiento 30 desplazable y un rodillo de reacondicionamiento 32 de forma llena se disponen asimismo en el soporte 20 de la pieza de trabajo. Una serie de estabilizadores 34 del componente se muestran igualmente. Se apreciará

que se pueden disponer en el soporte de la pieza de trabajo una variedad de calibres, muelas, ruedas de reacondicionamiento y/o formación y otras herramientas de corte tales como herramienta de torneado, como sea adecuado.

5 Un cabezal de muela 38 se dispone en el soporte 22 de la herramienta. Un eje lineal 40 se dispone para facilitar el movimiento de una muela 36 hacia o desde la pieza de trabajo. Se pueden disponer múltiples muelas u otras herramientas en el soporte de la herramienta. Por ejemplo, un cabezal de indexación podría incluirse para facilitar la selección de una de las diversas herramientas montadas en la máquina simultáneamente.

10 En la figura 17b, se muestra más en detalle un modo de realización que incluye dos ejes giratorios y un eje lineal.

La secuencia de vistas mostradas en las figuras 18a a 18c ilustran cómo un modo de realización que incluye tres ejes de movimiento (dos giratorios, uno lineal) permite que una muela consiga acceder a toda la longitud de una pieza de trabajo alargada. Se puede observar que existe un ajuste de la posición del eje lineal a medida que los dos ejes giratorios se mueven con relación a la base de la máquina con el fin de desplazar la muela axialmente a lo largo de la superficie del componente.

15 La figura 19 ilustra cómo se puede utilizar el ajuste de las orientaciones de giro relativas del soporte de la herramienta 22 y del soporte 20 de la pieza de trabajo para crear un ángulo entre el eje de giro 50 de una muela 36 y el eje longitudinal 52 de una pieza de trabajo 24, para facilitar la formación de un perfil abocinado en la pieza de trabajo.

La figura 20 ilustra cómo una muela 60 pre-formada puede ser empleada utilizando una máquina herramienta que encarna la invención para formar perfiles predeterminados en una pieza de trabajo 24.

25 Una máquina herramienta que emplea dos muelas gemelas se muestra en la figura 21. Dos cabezales 70, 72 de la muela se montan en el soporte 22 de la herramienta. Un eje lineal 74, 76 adicional se dispone en asociación con cada cabezal 70, 72 de la muela, apilado sobre el otro eje lineal 78, 80 respectivo. Esto facilita el control independiente de las posiciones de la muela con relación al eje longitudinal de la pieza de trabajo 24. Con tal configuración, se pueden rectificar simultáneamente dos elementos en la pieza de trabajo, lo que se puede emplear, por ejemplo, en el rectificado de un manetón planetario.

30 En una máquina herramienta que incluye dos ejes giratorios y un eje lineal, sólo se requerirá una cubierta móvil del eje lineal. Los dos ejes giratorios pueden tener cubiertas o laberintos giratorios, macizos. Estos pueden no tener ninguna junta de fricción o influencia significativa en el movimiento de los ejes de precisión de la máquina.

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

40 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 puede ser medida, y cualquier compensación necesaria calculada. Esta compensación puede ser incorporada en las instrucciones que gobiernan el funcionamiento del controlador de la máquina herramienta, por ejemplo en software.

45 Se puede emplear calibración por láser en relación al ángulo, posición lineal y rectitud, lo que permite una corrección de errores de movimiento con respecto a los ejes giratorio y lineal.

50 Las figuras 22a y 22b muestran cómo se puede calibrar por láser la máquina. Una fuente de luz 70 se monta en el cabezal 26 que genera dos haces de láser 72, 74 paralelos, que son incidentes sobre un detector 76 transportado por el soporte 22 de la herramienta.

55 Al mover los dos ejes giratorios y el eje lineal es posible (utilizando diversos conjuntos de óptica de láser) medir errores de rectitud, posición y ángulo y realizar correcciones para compensar los errores. Los procedimientos de corrección variarán dependiendo de los requerimientos primarios para cualquier pieza de trabajo dada (por ejemplo paralelismo, diámetro o posición axial del elemento que está siendo mecanizado).

El procedimiento de calibración podría incluir las siguientes etapas

60 I. Utilizando óptica de medición del error angular:

i. Girar los dos ejes, subordinando el eje secundario (por ejemplo, el eje de soporte de la herramienta) al eje primario (por ejemplo, el eje de soporte del cabezal de trabajo) en todo el intervalo de movimiento requerido para mecanizar el componente más largo. El eje lineal será subordinado asimismo al eje primario con el fin de mantener una posición constante del haz láser en la óptica de medición.

65

ii. Los errores angulares afectarán a:

1. El diámetro del elemento que está siendo mecanizado;
 2. El paralelismo del elemento que está siendo mecanizado;
 3. La posición axial del elemento que está siendo mecanizado.
- iii. Cualquier error angular medido puede ser compensado modificando el movimiento del eje secundario con relación al eje primario.
- iv. Este procedimiento minimizará los errores del eje de giro (de cada codificador) y cualquier error de giro adicional, por ejemplo de errores de inclinación del eje de apoyo y error de guiñada del eje lineal.
- II. Utilizando óptica de medición de la posición lineal:
- i. Repetir el procedimiento de movimiento de (I).
 - ii. Errores en la posición lineal afectarán a la posición axial del elemento que está siendo mecanizado.
 - iii. Si la posición axial de un elemento es de prioridad superior al paralelismo del elemento que está siendo mecanizado, entonces los errores en la posición medida pueden ser compensados (utilizando el eje de giro secundario). Esto se sumará ligeramente a los errores en la posición angular que serían minimizados durante el procedimiento I.
1. El error angular adicional podría ser relativamente insignificante. Por ejemplo, corregir un error de 3 micras en la posición axial requiere (aproximadamente) 1 arco segundo de corrección angular. 1 arco segundo en un elemento de 50 mm de largo daría como resultado un abocinado de 0,25 micras.
- III. Utilizando la óptica de medición de rectitud para determinar errores de rectitud horizontales:
- i. Repetir el procedimiento de movimiento.
 - ii. Errores lineales de rectitud afectarán al diámetro del elemento que está siendo mecanizado.
 - iii. Errores medidos de rectitud horizontales pueden ser compensados directamente utilizando el eje lineal.
- Estos procedimientos permiten la corrección de errores de movimiento sin necesidad de alinear ejes ortogonales, un beneficio clave de este diseño de máquina.
- Si la posición axial de los elementos mecanizados es particularmente apretada, se puede emplear un codificador lineal (tal como un interferómetro de láser montado entre los dos ejes giratorios) como un codificador secundario para minimizar los errores de posición lineal provocados por errores del codificador giratorio.
- Esto puede ser conseguido aplicando principios similares a aquellos empleados en el anterior procedimiento de calibración.
- Modos de realización preferidos de la máquina herramienta utilizan codificadores giratorios para sincronizar el movimiento entre dos ejes giratorios. Puede ser posible mantener alrededor de 1 arco segundo de error absoluto de posición entre los dos ejes. Un error de posición de giro produce un error lineal en un radio dado de, aproximadamente, 5 micras (de error lineal) por metro (de radio) por arco segundo (de error). Para un componente de alrededor de 1500 mm de largo, el radio del centro del eje de giro al extremo del componente puede ser de alrededor de 900 mm, por ejemplo. Esto da como resultado un error de posición lineal (en la dirección axial del componente) de alrededor de 3 micras por arco segundo de error.
- En la mayoría de los casos esto será aceptable. Sin embargo, para requerimientos extremadamente exigentes (por ejemplo, que requieran no más de 1 micra de error lineal) puede ser preferible realizar una medición de error lineal directa, en línea (en lugar de una medición lineal inferida de un codificador giratorio).
- Un ejemplo de un codificador láser lineal de largo alcance es un RLE 10, comercializado por Renishaw (RTM). Un codificador de este tipo podría ser utilizado para proporcionar una realimentación de la posición lineal a medida que los dos ejes giratorios se mueven relativamente entre sí. Así pues, errores de posición axial entre la herramienta de corte y el componente resultantes de errores del codificador giratorio pueden ser medidos directamente como errores de posición lineal.
- La configuración del codificador lineal sería similar a la mostrada anteriormente en las figuras 22a y 22b para el procedimiento de calibración de la máquina. Sin embargo, el láser y el blanco del codificador necesitarían estar rodeados por una cubierta (no mostrada en las figuras), alejados (probablemente por debajo) de la posición de contacto de

mecanizado.

5 Aunque los modos de realización descritos con referencia a los dibujos son máquinas de rectificado, se apreciará que de acuerdo con la invención se pueden implementar un amplio abanico de operaciones relativas al mecanizado. Además de operaciones de rectificado, otras aplicaciones son el torneado o pulido, por ejemplo, y la inspección de componentes mecanizados.

10 Se apreciará que las referencias hechas aquí orientaciones relativas ortogonales o paralelas y similares se deben interpretar como definiendo relaciones sustancialmente ortogonales o paralelas entre componentes dentro de las tolerancias prácticas.

REIVINDICACIONES

1. Una máquina herramienta que comprende:

5 una base de la máquina (10),

un primer soporte (20, 100) dispuesto sobre un primer eje de giro de la máquina montado en la base en una posición fija con relación a la base,

10 un segundo soporte (22, 102) dispuesto sobre un segundo eje de giro de la máquina, en el que el segundo eje de giro es paralelo y separado lateralmente del primer eje de giro y transporta una montura (38, 112) movable con relación al segundo soporte a lo largo de un primer eje lineal de la máquina, ortogonal al segundo eje de giro, y

15 un conjunto de control accionable para controlar la orientación del primer soporte sobre el primer eje de giro, y la orientación de la montura con relación al segundo eje de giro y su posición a lo largo del eje lineal, de modo que gobierne la posición y orientación del primer soporte y de la montura relativamente entre sí;

caracterizada porque el segundo eje de giro de la máquina está montado en la base (10) en una posición fija con relación a la base.

20 2. Una máquina herramienta de acuerdo con la reivindicación 1, en la que uno de los soportes (100, 100') proporciona un movimiento relativo a la base de la máquina (10) a lo largo de un segundo eje lineal de la máquina paralelo a su eje de giro.

25 3. Una máquina herramienta de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en la que los soportes (20, 100; 22, 102) son giratorios independientemente alrededor de sus ejes de giro de la máquina respectivos.

30 4. Una máquina herramienta de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en la que los soportes (20, 100; 22, 102) están dispuestos para girar alrededor de sus ejes de giro de la máquina respectivos de tal modo que el movimiento de giro de un soporte en una dirección es igualado por el giro del otro soporte, pero en la dirección opuesta.

35 5. Una máquina herramienta de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que los soportes (20, 100; 22, 102) son giratorios con relación a la base de la máquina mediante motores de accionamiento directo (16) respectivos.

40 6. Una máquina herramienta de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que cada soporte (20, 100; 22, 102) incluye un sensor de giro para proporcionar una señal relacionada con la posición de giro del soporte respectivo con relación a la base de la máquina (10), y el conjunto de control es accionable para recibir las señales de los sensores de giro, y para compensar imprecisiones en el movimiento de los soportes durante una operación de mecanizado.

7. Una máquina herramienta de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que uno de los soportes (20, 100; 22, 102) transporta una montura de herramienta.

45 8. Una máquina herramienta de acuerdo con la reivindicación 7, en la que dos monturas de herramienta (70, 72) son transportadas por uno de los soportes (22), cada una movable con relación al un soporte independientemente de la otra a lo largo de ejes lineales (78, 80) mutuamente paralelos, ortogonales a los ejes de giro de la máquina respectivos.

50 9. Una máquina herramienta de acuerdo con la reivindicación 8, en la que al menos una de las monturas de herramienta (70, 72) es movable asimismo con relación a un soporte a lo largo de un eje lineal (74, 76) adicional, ortogonal a los ejes lineales mutuamente paralelos.

55 10. Una máquina herramienta de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7 al 9, en la que el otro soporte (20) se dispone para soportar una pieza de trabajo (24) alargada con su eje longitudinal en un plano ortogonal a los ejes de giro de la máquina.

11. Un método para mecanizar una pieza de trabajo (24), que comprende las etapas de:

60 (a) proporcionar una máquina herramienta de cualquiera de las reivindicaciones anteriores;

(b) montar una pieza de trabajo (24) en uno de los soportes (20, 100; 22, 102);

(c) montar una herramienta de corte (36) en el otro soporte;

65 (d) girar los soportes para presentar una porción seleccionada de la pieza de trabajo a la herramienta de corte; y

(e) mecanizar la porción seleccionada de la pieza de trabajo con la herramienta de corte.

12. Un método de acuerdo con la reivindicación 11, que incluye las etapas adicionales de:

5 (f) girar los soportes (20, 100; 22, 102) en direcciones opuestas y mover la pieza de trabajo (24) y/o la herramienta de corte (36) con relación al soporte respectivo para acoplar una segunda porción de la pieza de trabajo con la herramienta de corte; y

(g) mecanizar la segunda porción de la pieza de trabajo con la herramienta de corte.

10

13. Un método para mecanizar una pieza de trabajo, que comprende las etapas de:

(a) proporcionar una máquina herramienta de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10;

15 (b) montar una pieza de trabajo (24) que tiene un eje longitudinal en uno de los soportes (20);

(c) montar una muela (36) en el otro soporte (22);

20 (d) girar el otro soporte (22) de tal modo que el eje de giro (50) de la muela no sea paralelo con respecto al eje longitudinal (52) de la pieza de trabajo; y

(e) rectificar la pieza de trabajo con la muela con el eje de giro de la muela en un ángulo respecto al eje longitudinal de la pieza de trabajo.

25 14. Un método para mecanizar una pieza de trabajo, que comprende las etapas de:

(a) proporcionar una máquina herramienta de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10;

(b) montar una pieza de trabajo en uno de los soportes (100);

30

(c) montar una herramienta que tiene un eje de referencia en el otro soporte (102); y

35 (d) mover el primer soporte (100) con relación al primer eje de giro y la montura (112) con relación al segundo eje de giro y el primer eje lineal de tal modo que se mecanice una superficie curva (140) predeterminada en la pieza de trabajo mediante la herramienta mientras se mantiene el eje de referencia de la herramienta perpendicular a dicha superficie.

15. Un método para calibrar una máquina herramienta de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, que comprende las etapas de:

40 (a) montar una fuente de luz láser (70) en uno de los soportes (20);

(b) emitir un haz láser de la fuente de luz que es incidente sobre un dispositivo óptico (74) soportado por el otro soporte;

45 (c) monitorizar la trayectoria del haz láser con respecto a las posiciones de los soportes (20, 22) medidas mediante sensores de giro respectivos;

(d) calcular errores de posicionamiento; y

(e) calibrar el conjunto de control de modo que se reduzcan los errores.

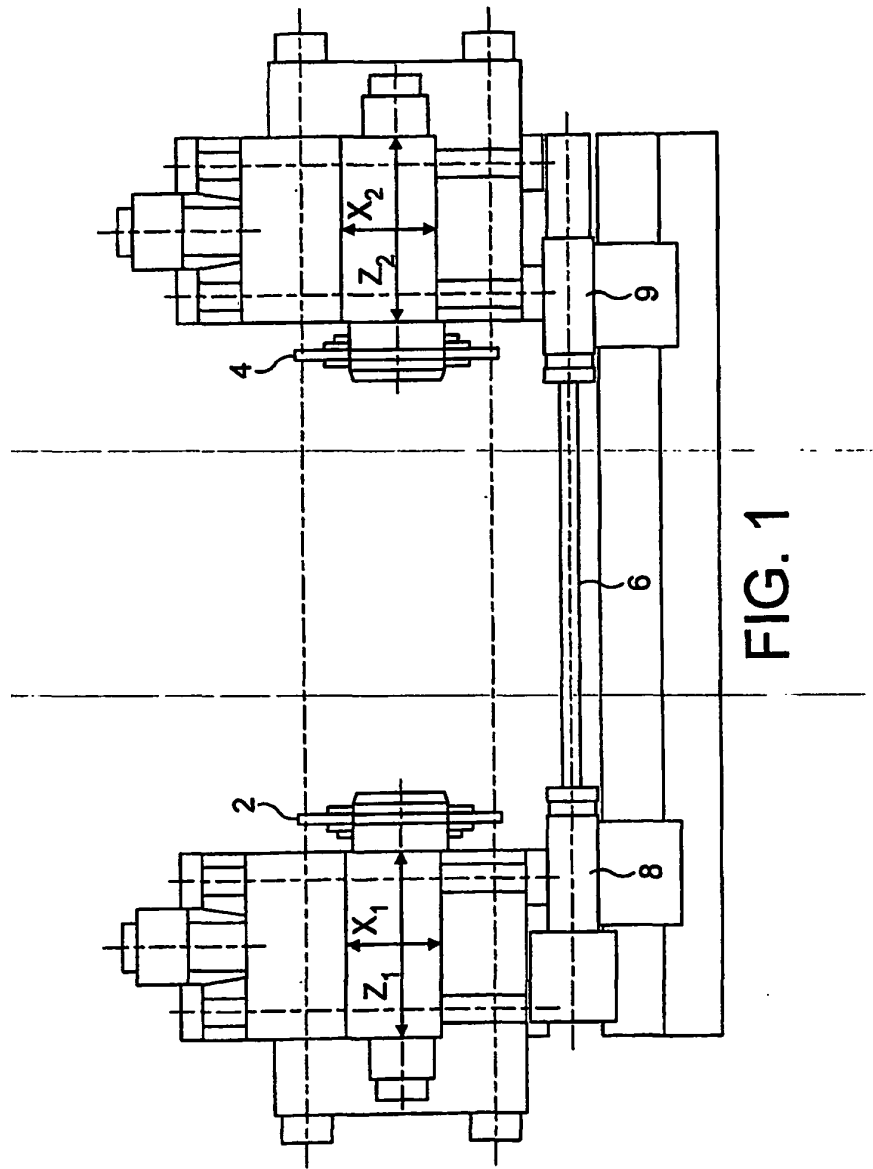


FIG. 1

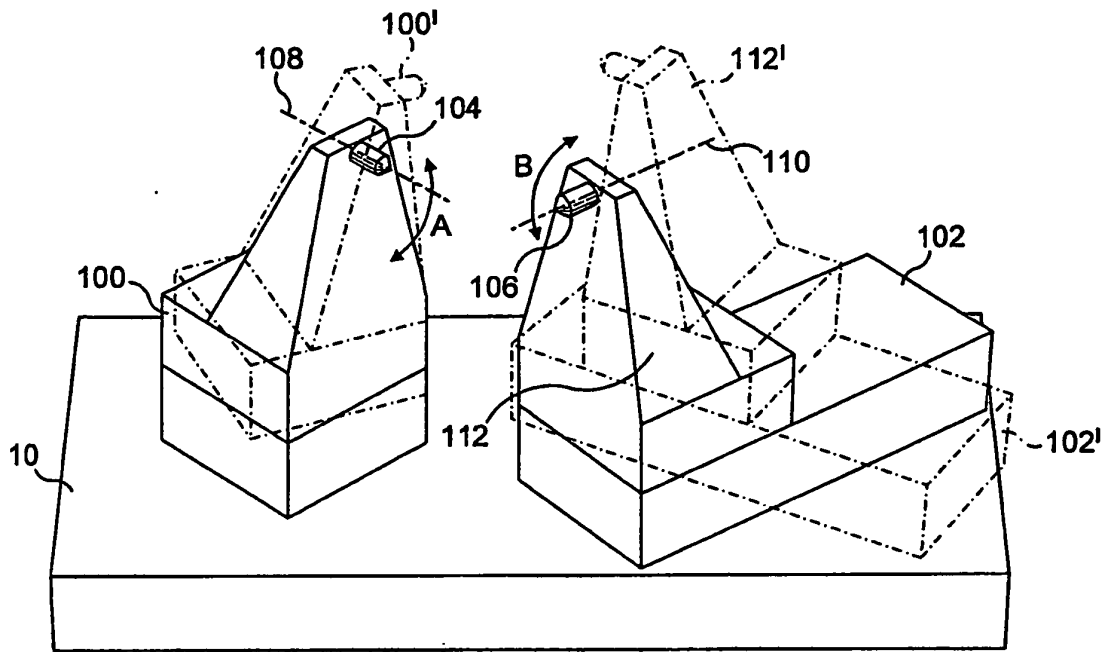


FIG. 2

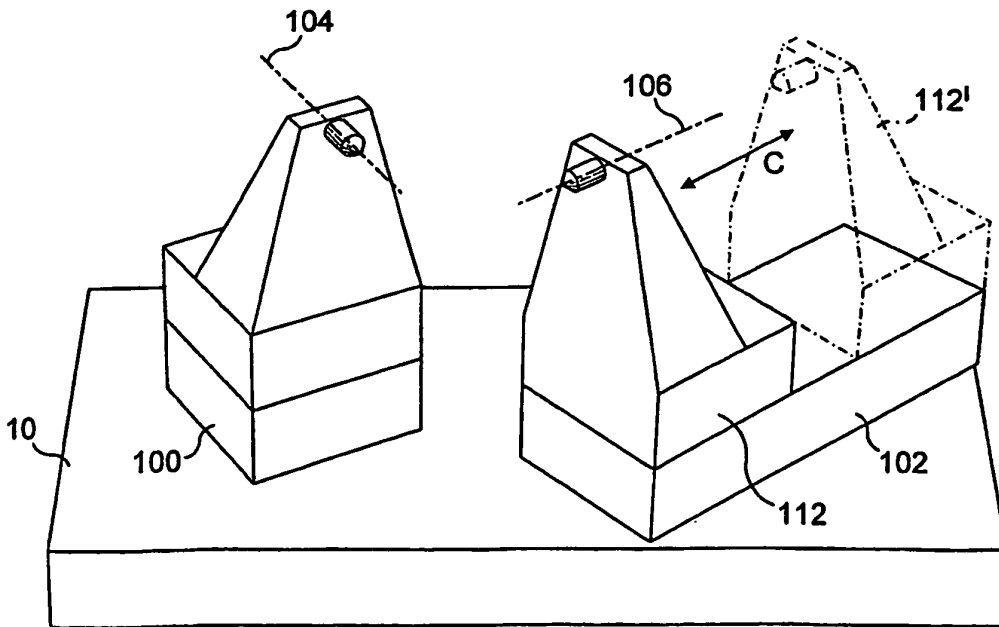


FIG. 3

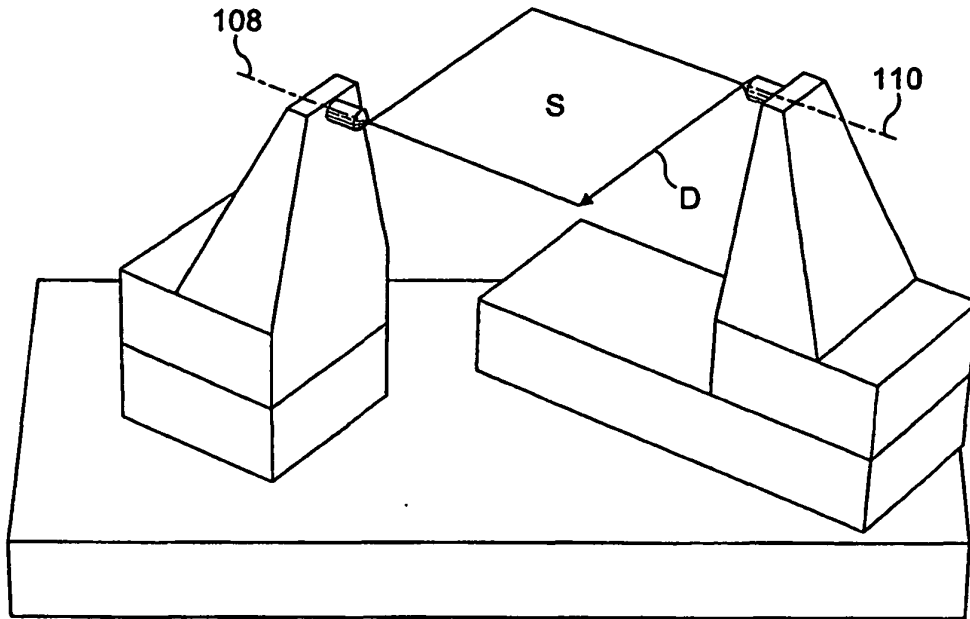


FIG. 4a

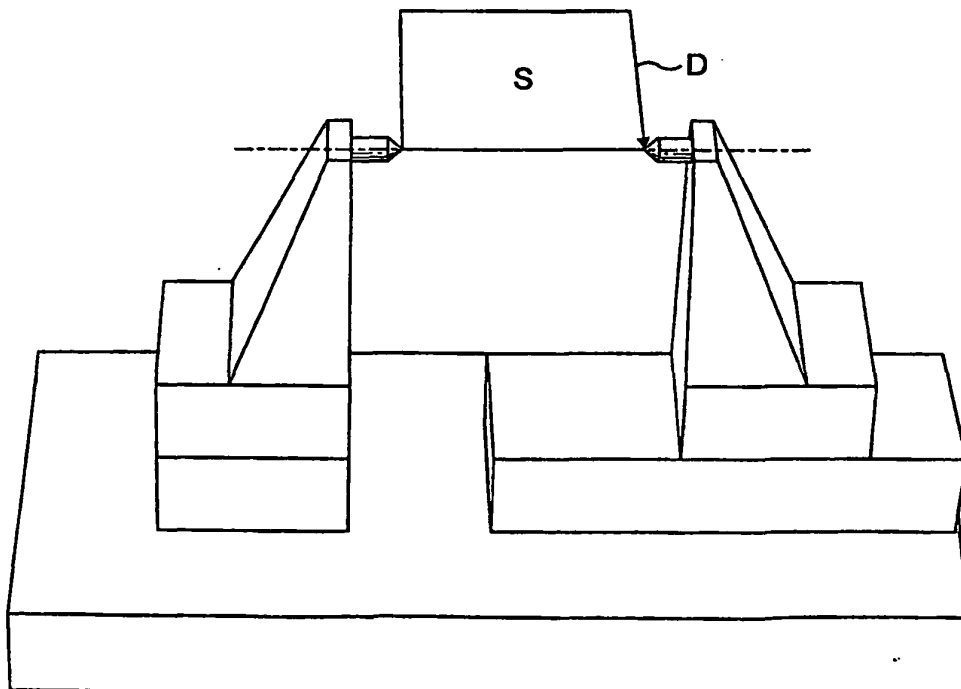


FIG. 4b

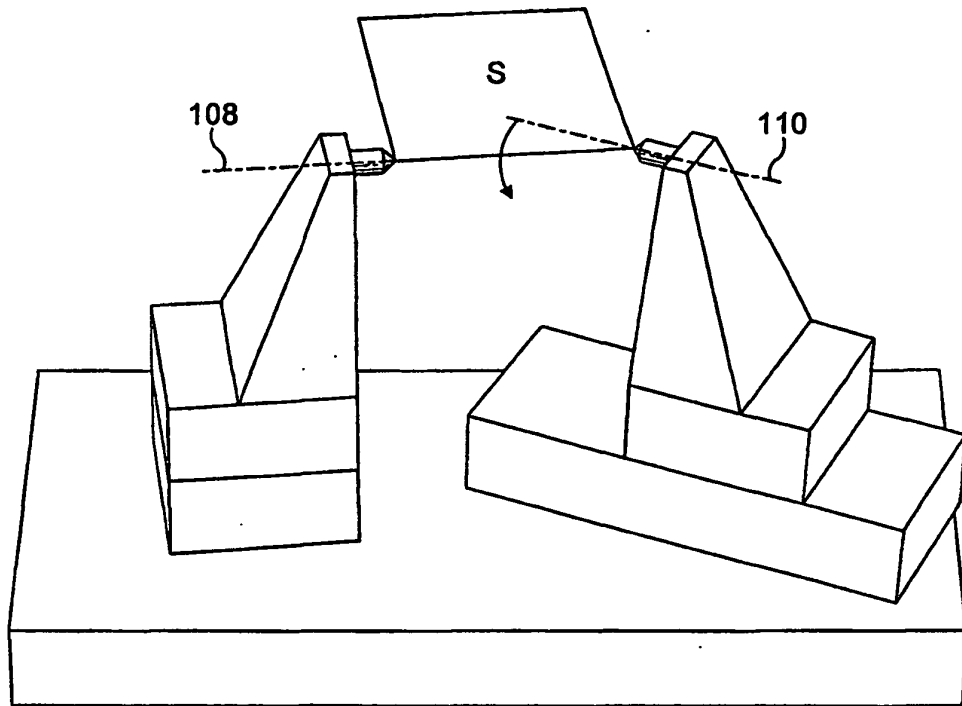


FIG. 5a

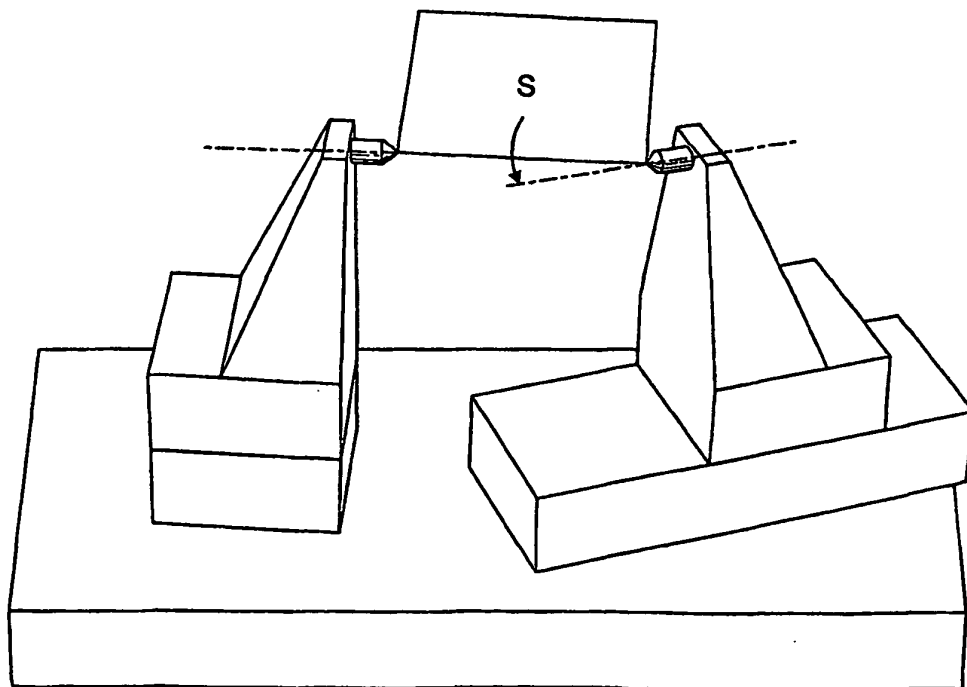


FIG. 5b

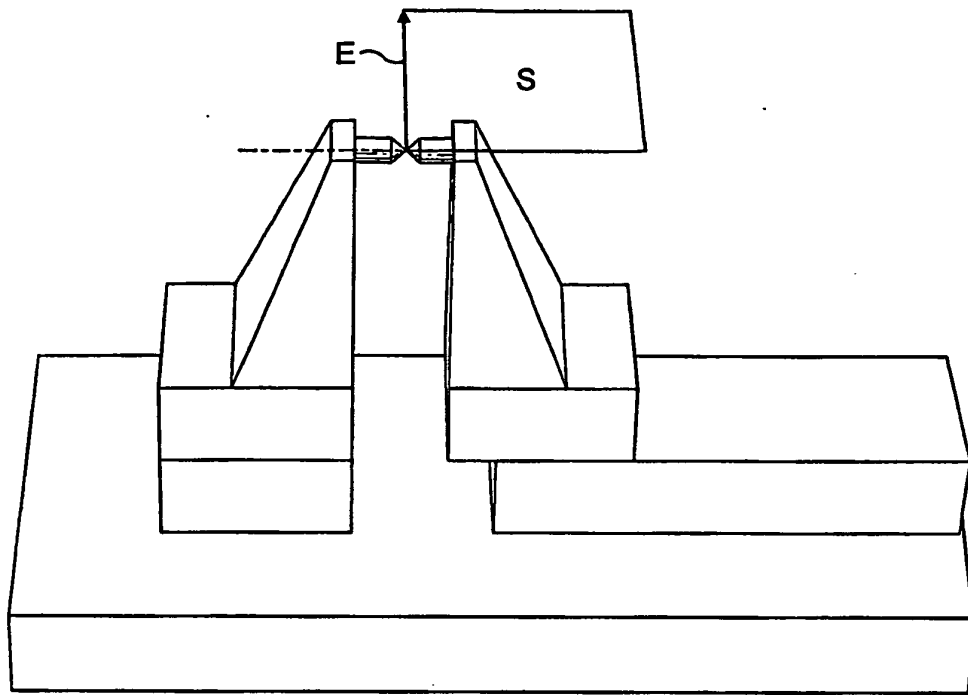


FIG. 6a

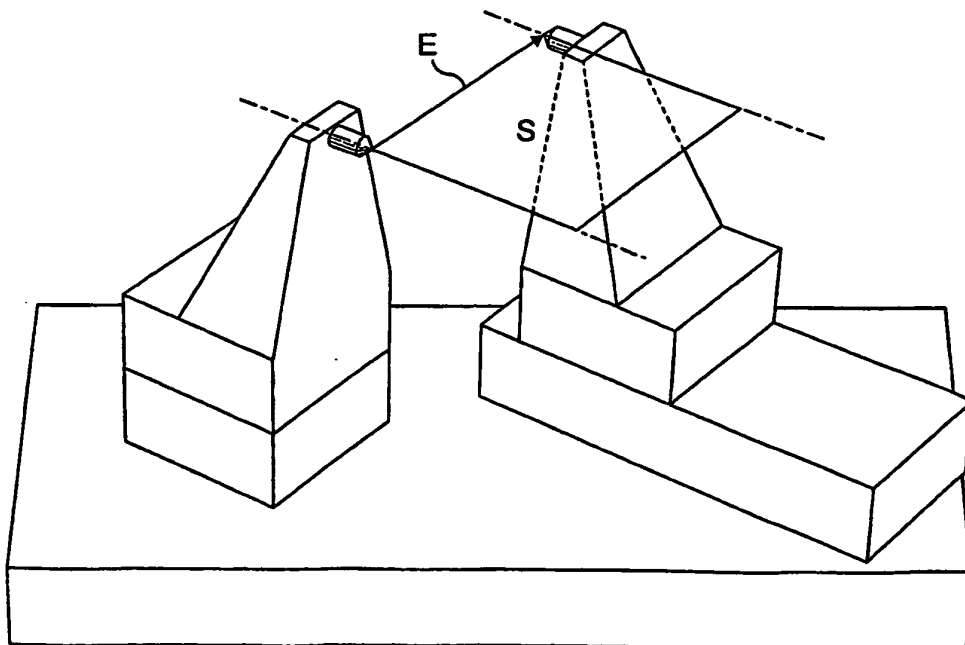


FIG. 6b

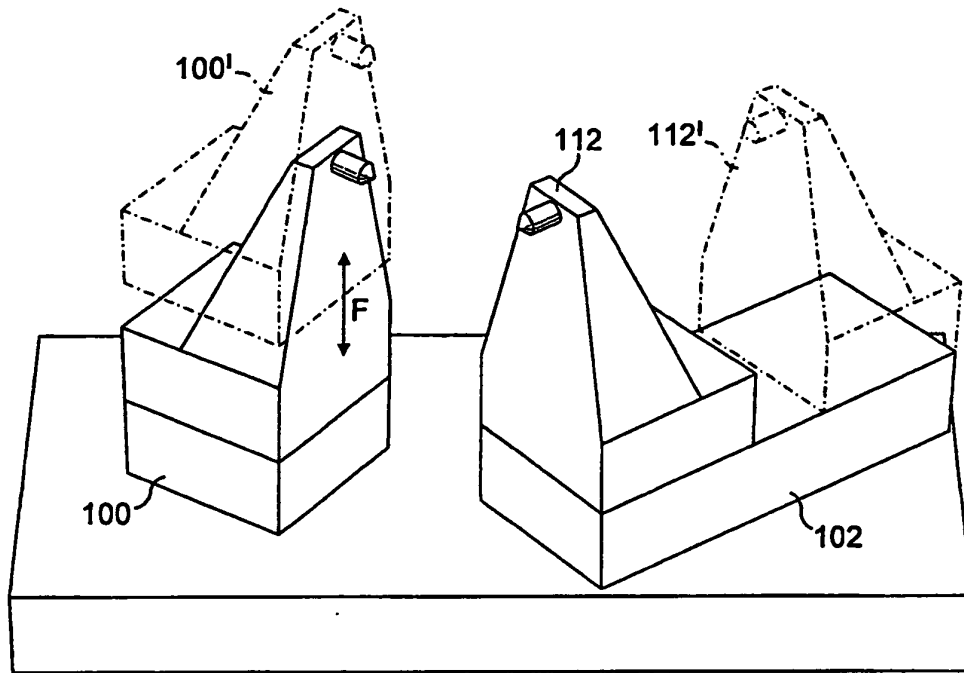


FIG. 7

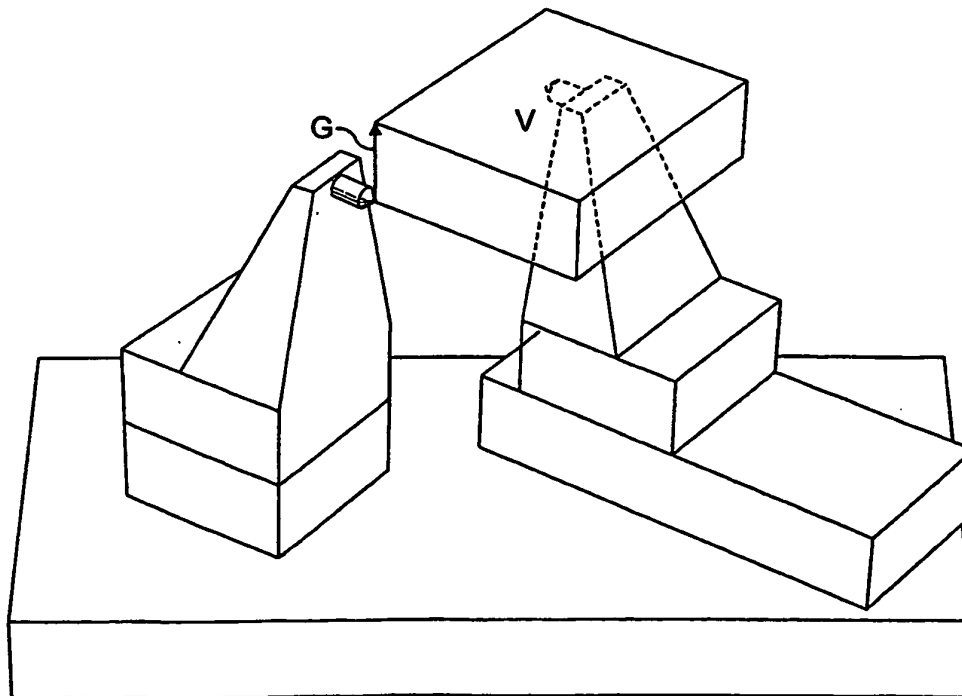


FIG. 8a

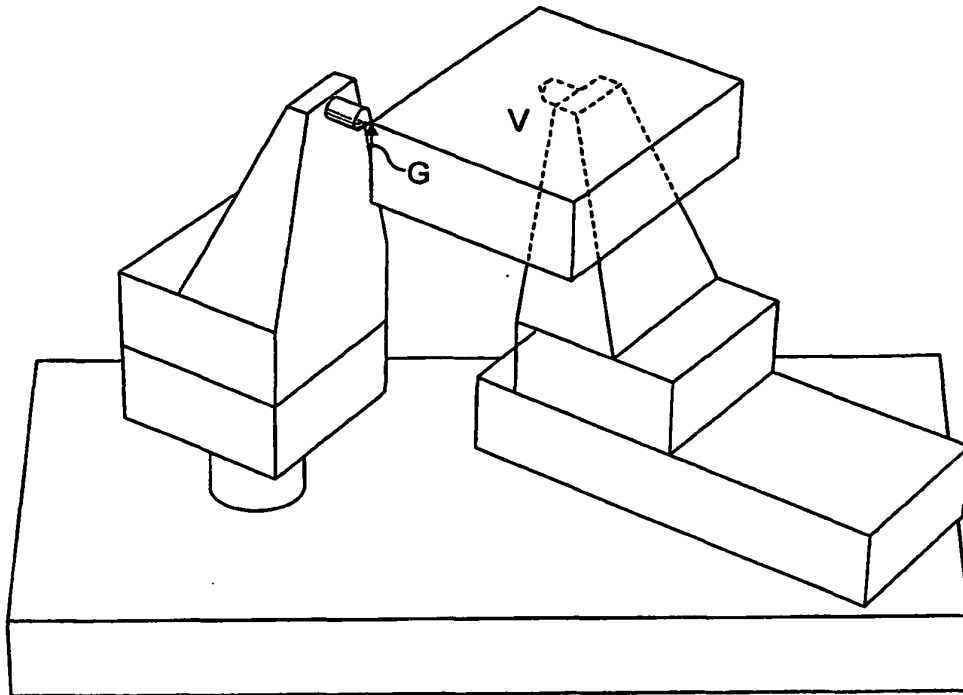


FIG. 8b

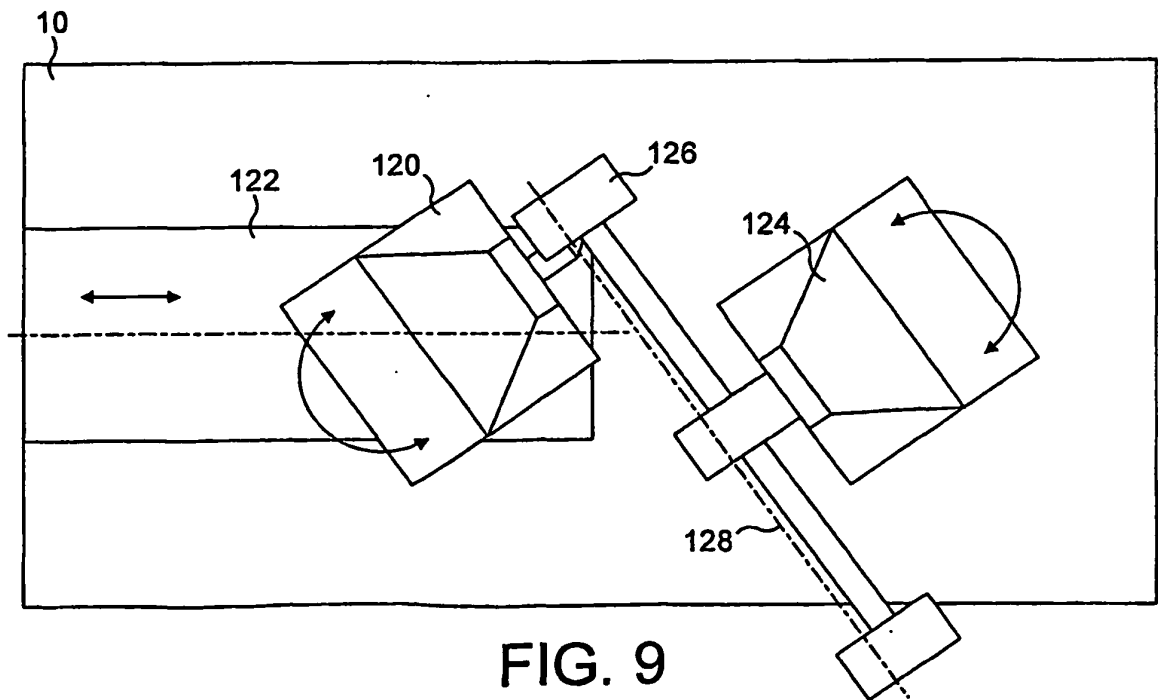


FIG. 9

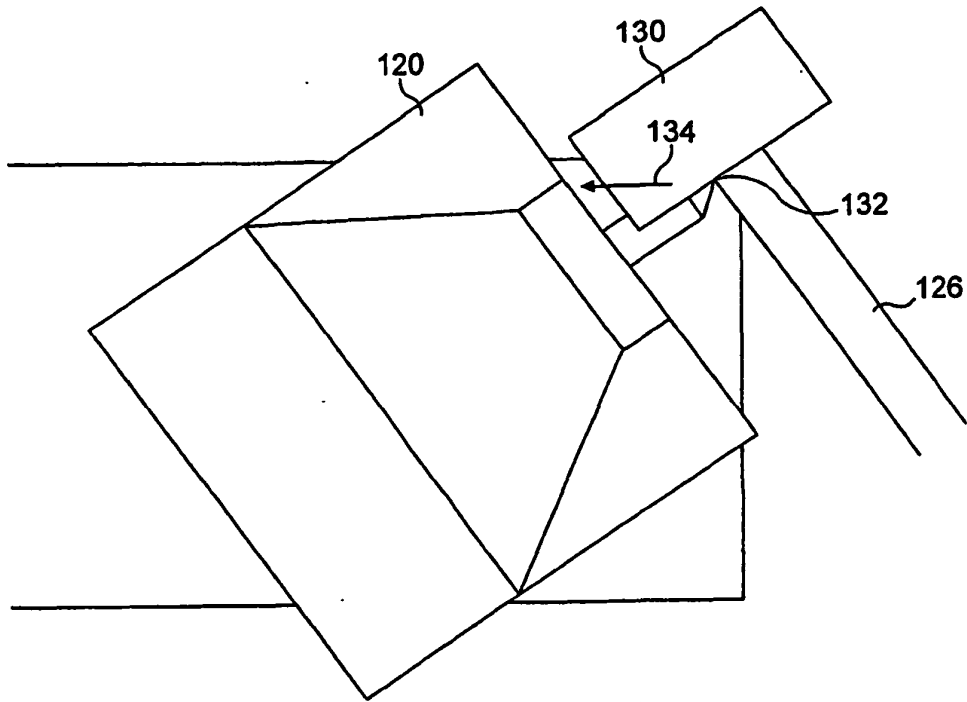


FIG. 10

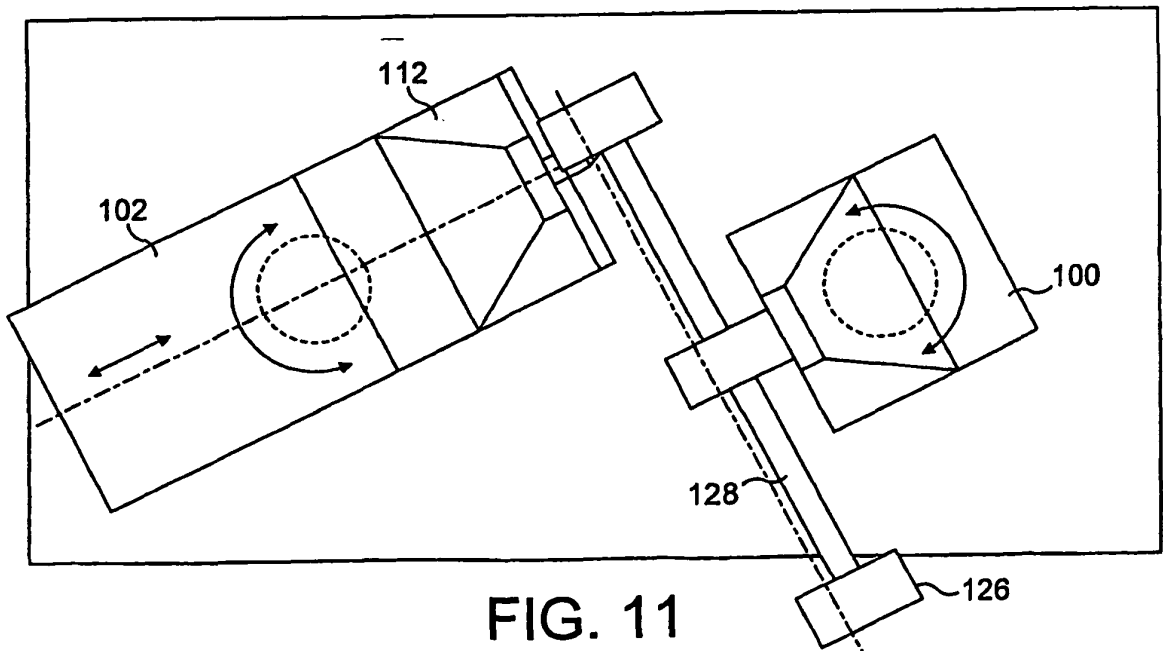
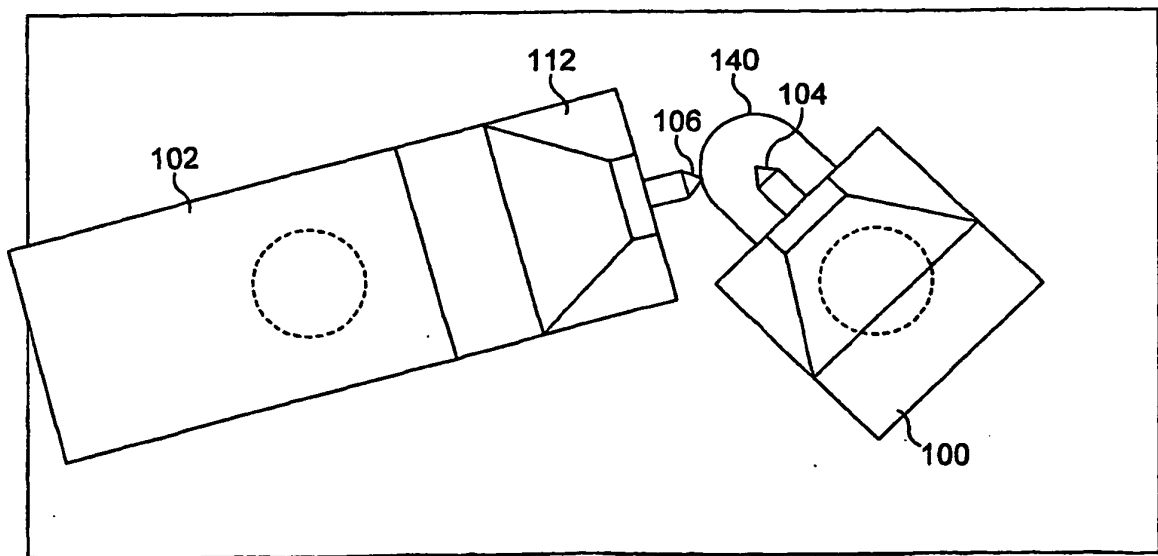
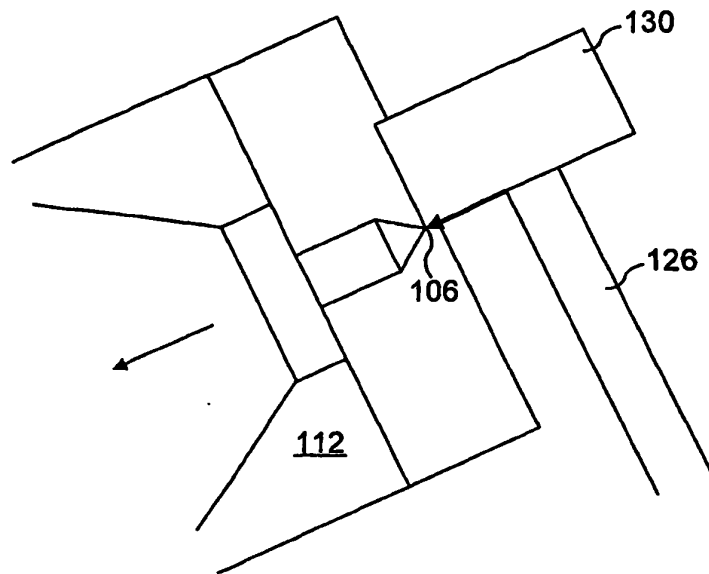


FIG. 11



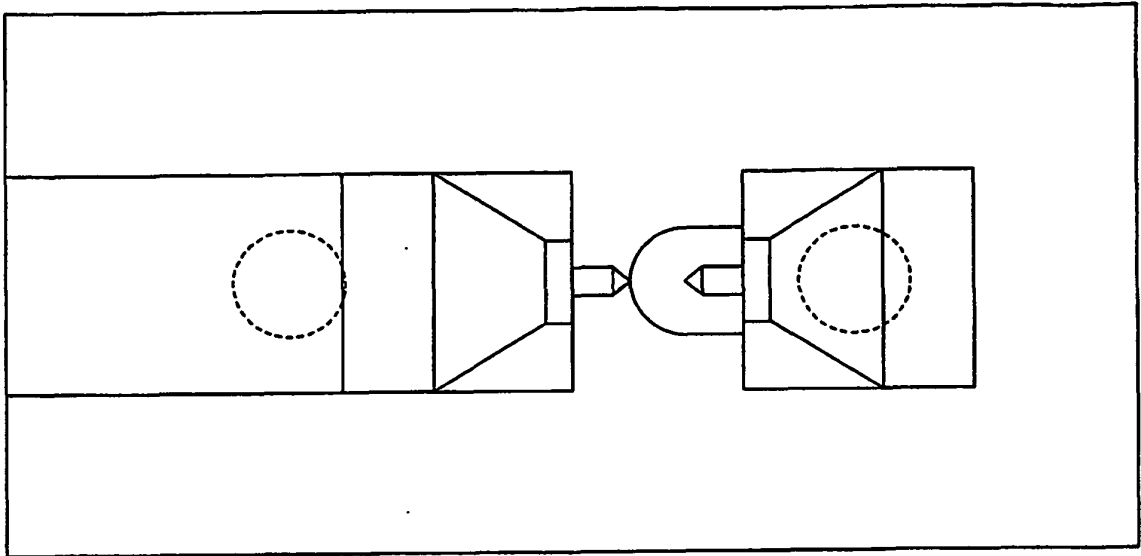


FIG. 14

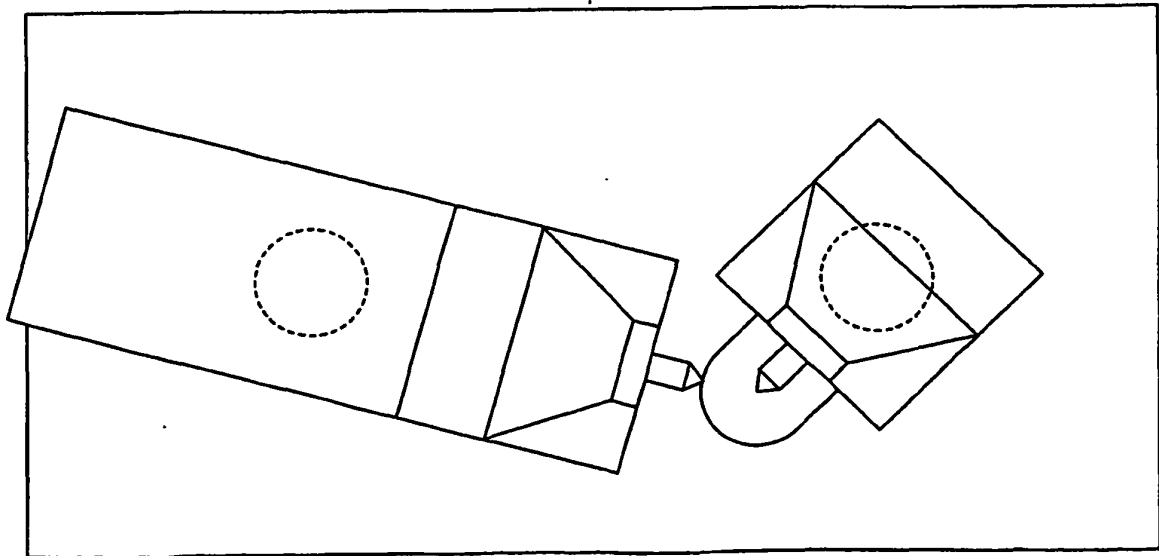


FIG. 15

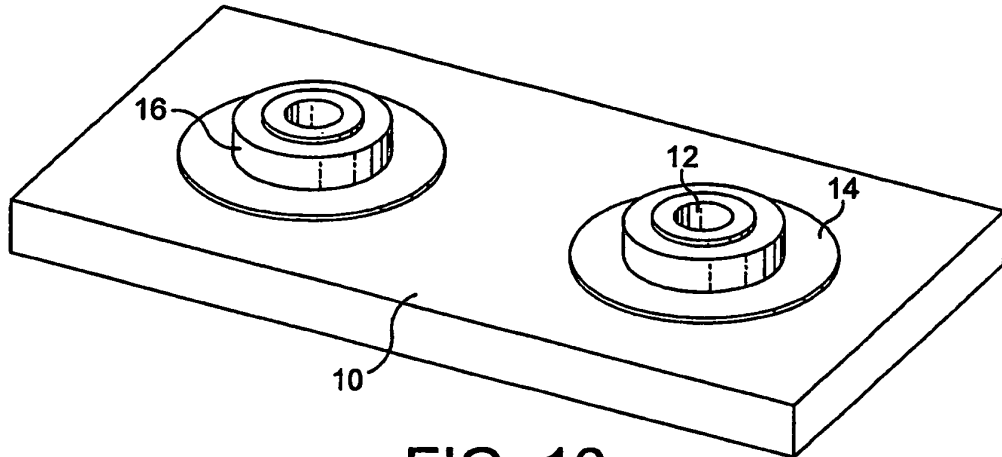


FIG. 16

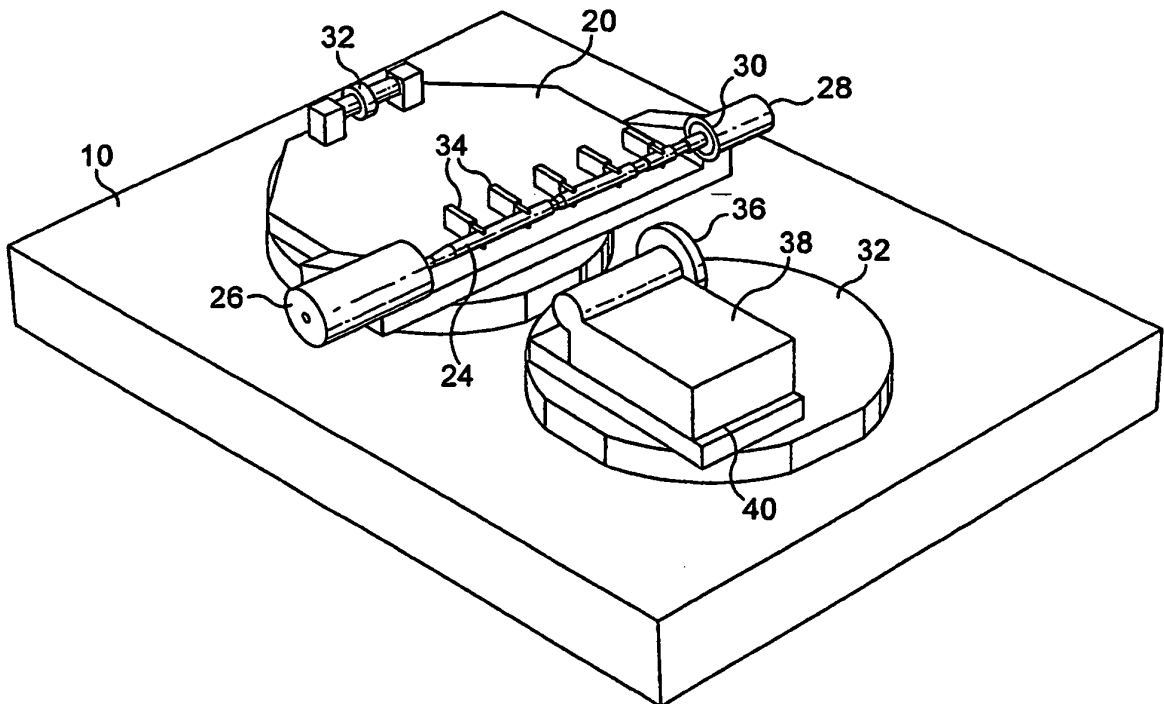


FIG. 17a

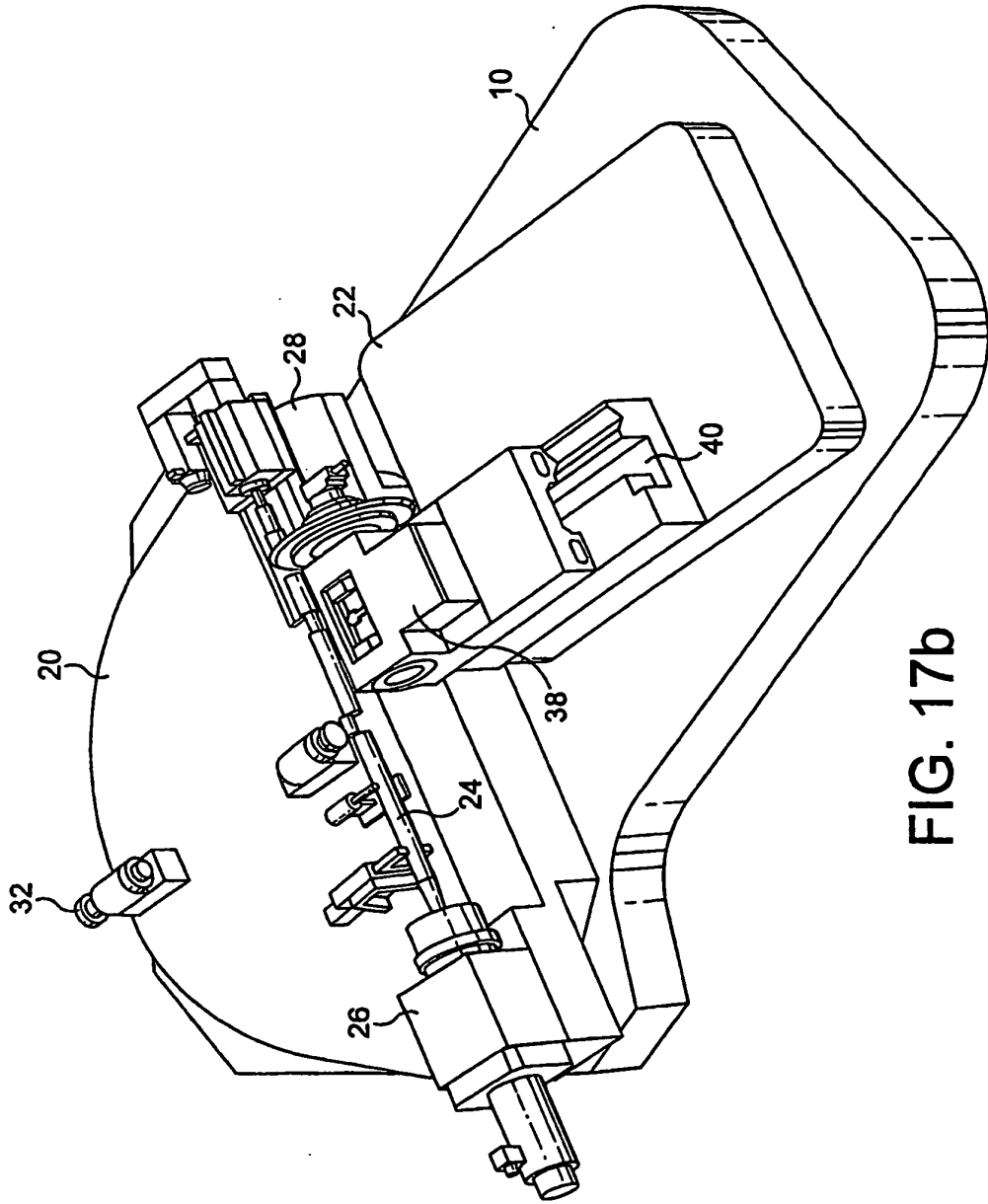


FIG. 17b

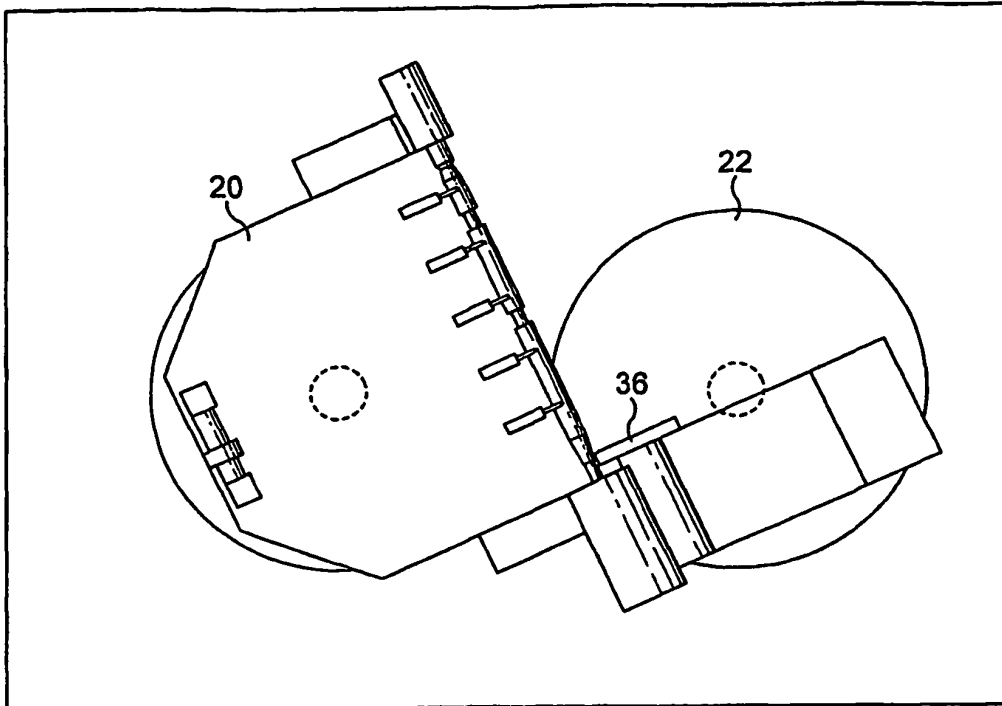


FIG. 18a

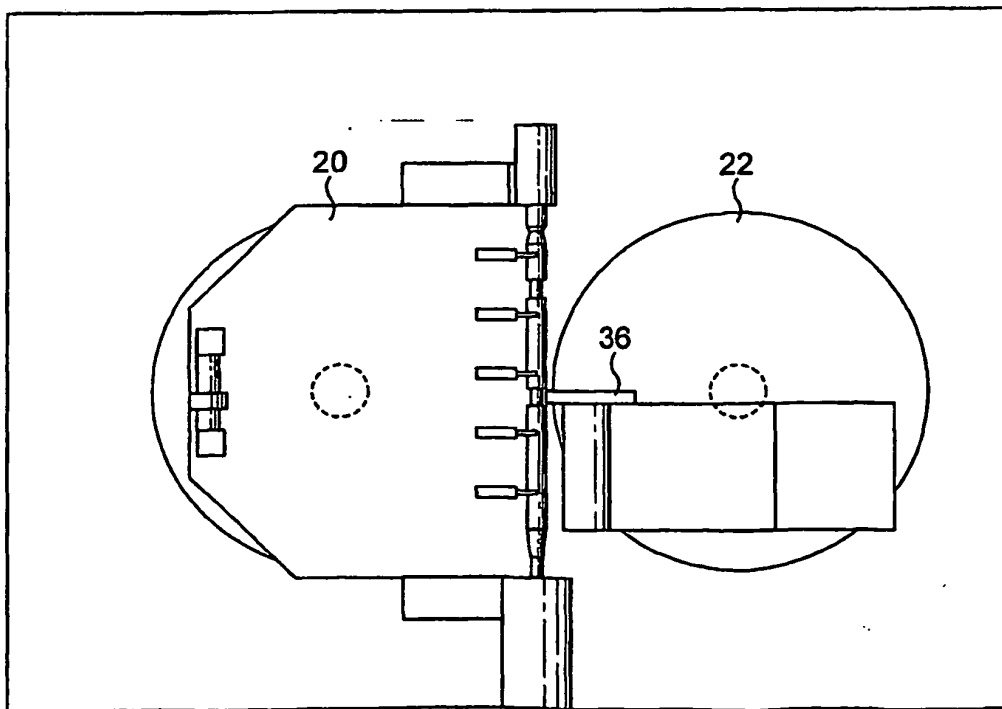
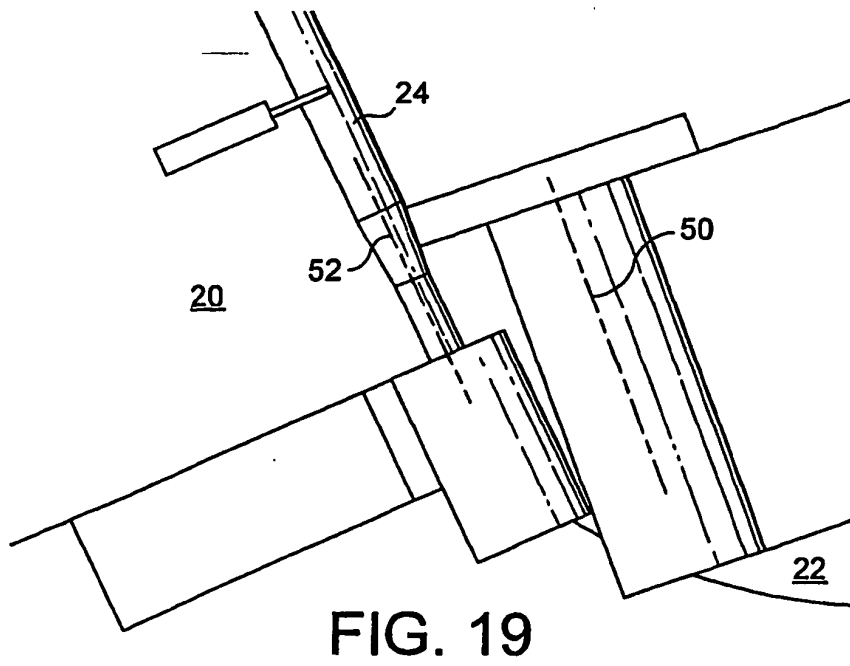
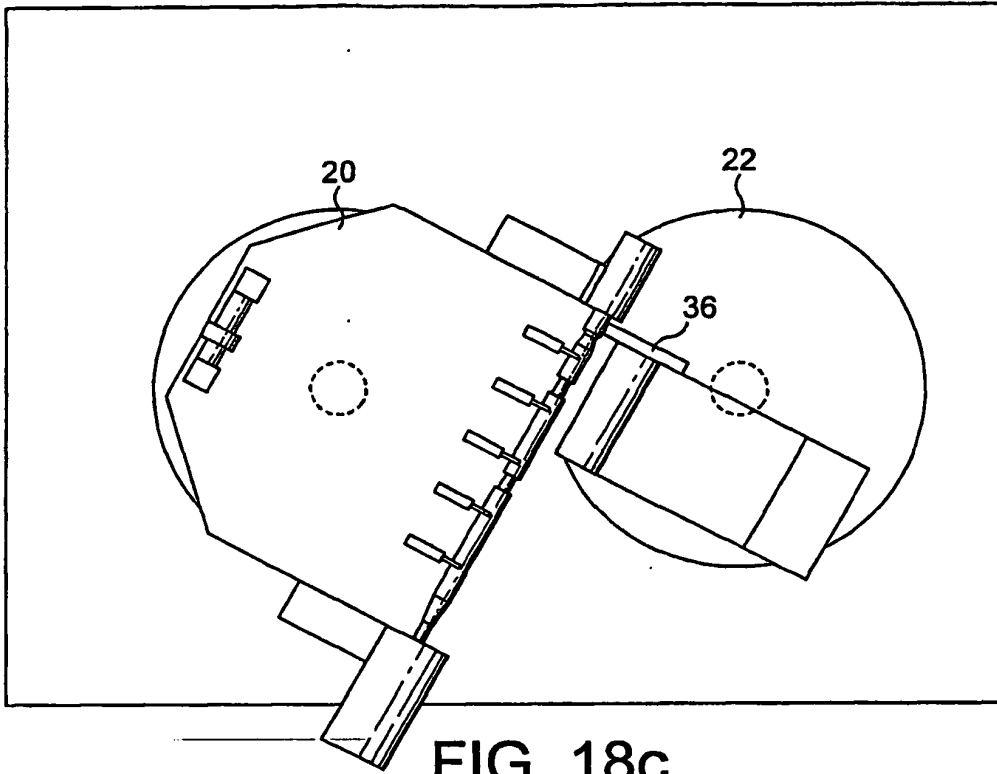


FIG. 18b



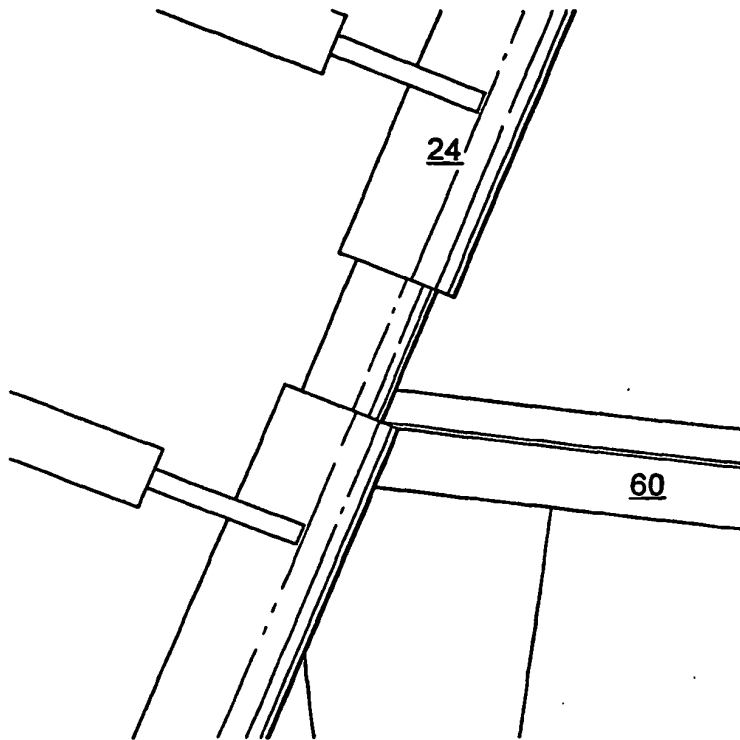


FIG. 20

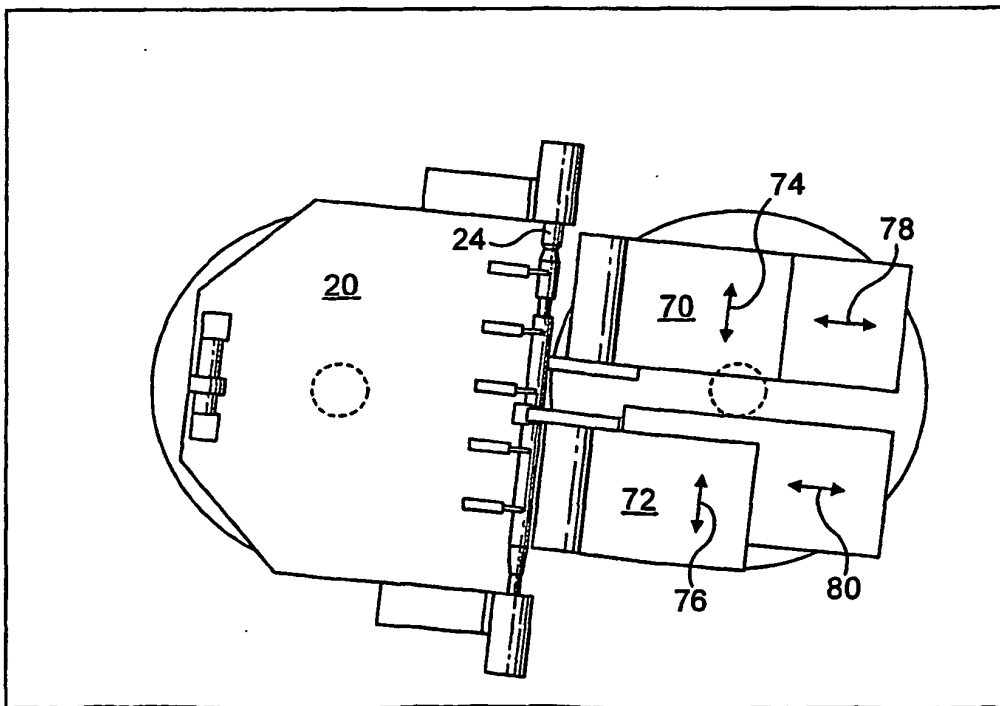


FIG. 21

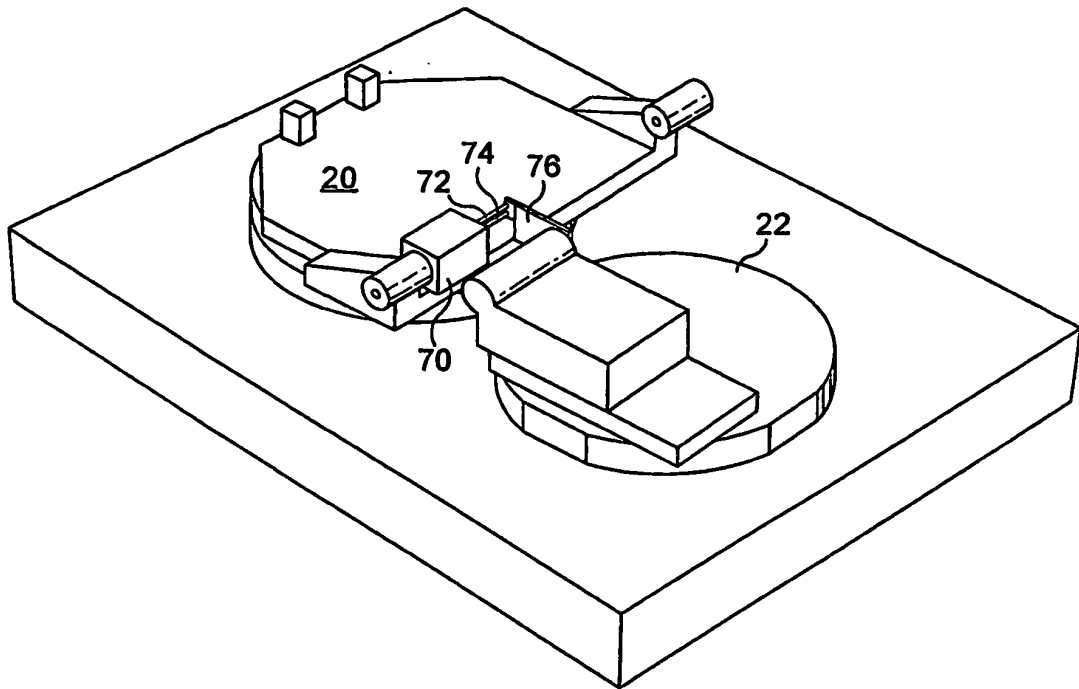


FIG. 22a

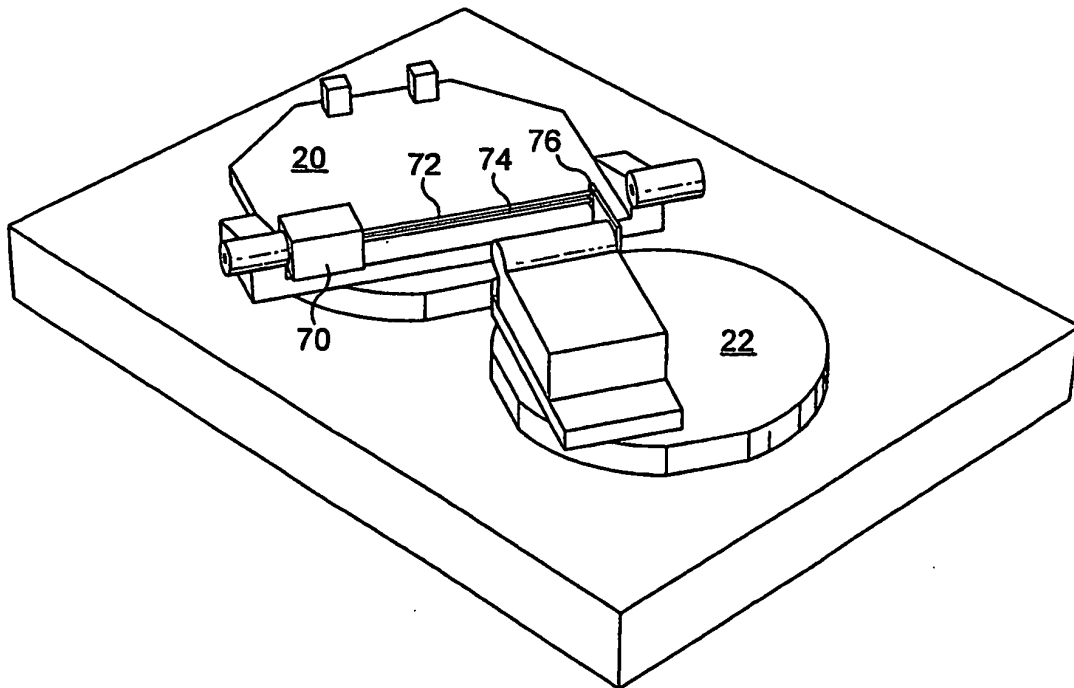


FIG. 22b