

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 993 431**

51 Int. Cl.:

B23Q 17/24 (2006.01)

B23Q 17/22 (2006.01)

G01B 11/03 (2006.01)

B23Q 1/62 (2006.01)

G05B 19/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.06.2016** **PCT/EP2016/063721**

87 Fecha y número de publicación internacional: **22.12.2016** **WO16202843**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.06.2016** **E 16731832 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.10.2024** **EP 3307481**

54 Título: **Máquina herramienta de control numérico cartesiano para mecanizado de alta precisión**

30 Prioridad:

15.06.2015 IT UB20151398

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
30.12.2024

73 Titular/es:

HPT SINERGY S.R.L. (100.00%)

Piazza Salvemini 7

35131 Padova, IT

72 Inventor/es:

POLETTO, LUCA;

FEDEL, MASSIMO y

PICCOLO, GABRIELE

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 993 431 T3

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

DESCRIPCIÓN

Máquina herramienta de control numérico cartesiano para mecanizado de alta precisión

5 La presente invención se refiere a una máquina herramienta de control numérico cartesiano para mecanizado de alta precisión.

10 Hoy en día se siente cada vez más la necesidad, por parte de los fabricantes de componentes mecánicos de arranque de material, de ser capaces de proporcionar productos de una calidad cada vez mayor y, al mismo tiempo, aumentar también la productividad.

Para ello se necesitan máquinas herramienta para las que no se obtenga un aumento del rendimiento global a expensas de la calidad del producto.

15 Requisitos esenciales para una máquina herramienta son la capacidad de moverse rápidamente a lo largo de trayectorias complejas manteniendo una alta precisión en sus movimientos, y la capacidad de eliminar material lo más rápidamente posible sin generar vibraciones excesivas, junto con la capacidad de verificar directamente, en la máquina, la calidad de la pieza mecanizada, mediante la factorización de las cualidades típicas de las máquinas de medición de coordenadas (CMM).

20 En la actualidad los fabricantes de máquinas herramienta se esfuerzan por adoptar estructuras ligeras que permitan mayores aceleraciones que hagan posible minimizar los costes de construcción, reducir el consumo de energía y maximizar la productividad; en tal contexto lo que adquiere cada vez mayor importancia es la interacción entre los sistemas de control y la dinámica de las partes mecánicas en movimiento, teniendo en cuenta las deformaciones de la estructura de la máquina herramienta con la variación, por ejemplo, de las condiciones ambientales.

25 En particular, la precisión de las máquinas herramienta de control numérico cartesiano de grandes dimensiones, es decir, con una excursión de los ejes controlados superior a cinco metros, está limitada por deformaciones estructurales que afectan a los componentes del chasis.

30 Dichas máquinas herramienta están diseñadas para proporcionar una pieza mediante una serie de actividades que están adaptadas para definir dicha pieza de modo que su forma y sus dimensiones reflejen las especificadas por un dibujo técnico correspondiente, y dicho dibujo para cada peculiaridad geométrica define las tolerancias que deben verificarse mediante actividades de medición adecuadas.

35 Habitualmente, para piezas mecánicas de grandes dimensiones, aunque la verificación de las tolerancias alcanzadas es necesaria, no se realiza debido a los costes que dicho procedimiento requeriría.

40 De hecho, una máquina herramienta es un medio de producción que, durante su ciclo de vida, debe mantenerse en condiciones óptimas de eficiencia si se quiere que sea capaz de operar dentro de los límites especificados por el fabricante y de forma que proporcione productos conformes a las tolerancias especificadas por el diseño.

45 De hecho, las máquinas herramienta sufren una degradación de sus prestaciones con el paso del tiempo, debido a las condiciones ambientales que las rodean, perdiendo así fiabilidad.

Por esta razón, las máquinas herramienta deben ser revisadas periódicamente para analizar el estado de la máquina y poder definir las intervenciones necesarias para mantener la máquina en las condiciones de funcionamiento especificadas originalmente.

50 Actualmente la comprobación del correcto funcionamiento de una máquina herramienta se realiza con sistemas especiales de medición y análisis, adaptados para ser instalados en las proximidades de dicha máquina herramienta, y con sistemas de comprobación del producto suministrado, tales como máquinas de medición de coordenadas (CMM).

55 El documento GB2188571 divulga un sistema de alineación para una máquina herramienta controlada numéricamente.

60 El objetivo de la presente invención es proporcionar una máquina herramienta de control numérico cartesiano para mecanizado de alta precisión, que sea capaz de superar los inconvenientes mencionados de las máquinas herramienta convencionales. En particular, dentro de este objetivo un objeto de la invención es proporcionar una máquina herramienta con la que sea posible determinar con precisión los desplazamientos del cabezal de mecanizado con respecto a las posiciones y trayectorias de funcionamiento especificadas.

Otro objeto de la invención es proporcionar un aparato para determinar tales desplazamientos.

65 Otro objeto de la invención es proporcionar una máquina herramienta que se adapte rápidamente a las condiciones

vibratorias y ambientales de funcionamiento.

Esta finalidad y estos y otros objetos que se harán más evidentes en lo sucesivo se consiguen mediante una máquina herramienta de control numérico cartesiano para mecanizado de alta precisión, de acuerdo con la reivindicación 1.

Otras características y ventajas de la invención se harán más evidentes a partir de la descripción de seis realizaciones preferidas, pero no exclusivas, de la máquina herramienta de acuerdo con la invención, que se ilustran a efectos de ejemplo no limitativo en los dibujos adjuntos en los que:

- La figura 1 es una vista esquemática en perspectiva de una máquina herramienta de acuerdo con la invención en una primera realización de esta;
- La figura 2 es una vista esquemática en perspectiva de un primer detalle de los medios ópticos de detección y monitorización;
- La figura 3 es una vista esquemática en perspectiva de un segundo detalle de los medios ópticos de detección y monitorización;
- La figura 4 es una vista esquemática en perspectiva de un tercer detalle de los medios ópticos de detección y monitorización;
- La figura 5 es una vista esquemática en perspectiva de un cuarto detalle de los medios ópticos de detección y monitorización;
- La figura 6 es una vista esquemática en perspectiva de un quinto detalle de los medios ópticos de detección y monitorización;
- La figura 7 es una vista esquemática en perspectiva de un sexto detalle de los medios ópticos de detección y monitorización;
- La figura 8 es una vista esquemática en perspectiva de una máquina herramienta de acuerdo con la invención en una segunda realización de esta;
- La figura 9 es una vista esquemática en perspectiva de una máquina herramienta de acuerdo con la invención en una tercera realización de esta;
- La figura 10 es una vista esquemática en perspectiva de una máquina herramienta de acuerdo con la invención en una cuarta realización de esta;
- La figura 11 es una vista esquemática en perspectiva de una máquina herramienta de acuerdo con la invención en una quinta realización de esta;
- La figura 12 es una vista esquemática en perspectiva de una máquina herramienta de acuerdo con la invención en una sexta realización de esta;
- La figura 13 es una vista lateral esquemática de una parte de los medios de detección y monitorización de la máquina herramienta de la figura 12;
- La figura 14 es una variación de la realización de los medios de detección y monitorización de la figura 13;
- La figura 15 ilustra esquemáticamente una elevación vista en frontal de la máquina en la figura 12.

Con referencia a las figuras, una máquina herramienta de control numérico cartesiano para mecanizado de alta precisión de acuerdo con la invención se designa generalmente con el número de referencia 10.

Dicha máquina herramienta 10 comprende:

- una base 11,
- una primera parte 12 con unos primeros medios de movimiento 13 para el desplazamiento de una segunda parte 14 con respecto a un primer eje controlado X1,
- una segunda parte 14 con segundos medios de movimiento 15 para el movimiento de una tercera parte 16 con respecto a un segundo eje controlado X2,
- una tercera parte 16 con unos terceros medios de movimiento 17 para el movimiento de un cabezal de mecanizado 18 con respecto a un tercer eje controlado X3,
- un cabezal de mecanizado 18,

como se muestra esquemáticamente a modo de ejemplo en la figura 1.

La máquina herramienta cartesiana 10 comprende, a bordo, medios ópticos 19 para detectar y monitorizar la posición de al menos un punto nodal de referencia para cada uno de uno o más de los ejes controlados X1, X2, X3 con respecto a un dispositivo de referencia 20 que es integral con una parte de la máquina herramienta 10.

Por lo tanto, se establecen puntos nodales de referencia en las diferentes partes de la máquina herramienta 10, por ejemplo un punto nodal de referencia A para la base 11, un punto nodal de referencia B para la primera parte 12 de la máquina herramienta, un punto nodal de referencia C para la segunda parte 14, y un punto nodal de referencia D para la tercera parte 16.

Midiendo periódicamente los movimientos del punto nodal B con respecto al punto nodal A es posible determinar, por ejemplo, las deformaciones de la primera parte 12 con respecto a la base 11.

Del mismo modo, también por ejemplo, midiendo periódicamente los movimientos del punto nodal C con respecto al punto nodal B es posible determinar las deformaciones de la segunda parte 14 con respecto a la primera parte 12.

- 5 En la primera realización de la máquina herramienta 10 de acuerdo con la invención, dicho dispositivo de referencia 20 es integral con la base 11 y está asociado con el punto nodal A.

Los puntos nodales se entienden obviamente como regiones en las que se sitúan los componentes de los medios de detección y monitorización.

- 10 Debe entenderse que el dispositivo de referencia 20 forma parte de los medios ópticos 19 de detección y monitorización.

- 15 Dichos medios ópticos 19 comprenden, como se muestra esquemáticamente en la figura 2, al menos un dispositivo 21 para detectar la traslación de un punto nodal de un eje controlado, por ejemplo del punto nodal B relativo a la primera parte 12 y por lo tanto al eje X1, a lo largo de dos ejes X2 y X3 que son perpendiculares al eje controlado X1.

- 20 Dicho dispositivo 21 de detección de la traslación de un punto nodal comprende, por ejemplo, un emisor de un haz láser 22, adaptado para fijarse a una parte de la máquina, por ejemplo a la base 11, en un primer punto nodal, por ejemplo el punto nodal A, y un elemento de recepción de la señal luminosa, por ejemplo, un sensor óptico de posición 23, conocido en el sector como dispositivo sensible a la posición (PSD), capaz de medir la posición de un punto luminoso emitido por el emisor láser 22 con respecto a dos ejes mutuamente perpendiculares, y adaptado para situarse en un segundo punto nodal, por ejemplo, el punto nodal B.

- 25 El emisor láser 22 está dispuesto de manera que sea integral con una primera parte de la máquina herramienta, por ejemplo, como se ha mencionado, la base 11, de tal manera que su haz láser 24 sea paralelo a un eje X1 para detectar y monitorizar deformaciones, mientras que el sensor óptico de posición 23 está dispuesto de manera que sea integral con una segunda parte de la máquina, por ejemplo integral con la segunda parte 14, que está diseñada para deslizarse sobre la primera parte 12 de la máquina a lo largo del eje X1.

- 30 El sensor óptico de posición 23 se posiciona de forma que cuando se completa la calibración el punto de luz producido por el haz láser 24 se encuentra en el origen de los ejes de referencia X2 y X3 del sensor óptico 23.

- 35 De esta manera es posible detectar las traslaciones relativas del emisor láser 22 con respecto al sensor óptico 23 de acuerdo con los ejes X2 y X3, indicados en la figura 2 con D2 y D3 respectivamente.

- Los medios ópticos 19 comprenden, como se muestra esquemáticamente en la figura 3, al menos un dispositivo 26 para detectar la rotación de un eje controlado, por ejemplo el eje X1, alrededor de dos ejes, X2 y X3, que son perpendiculares a dicho eje controlado, y en un punto nodal de referencia.

- 40 Dicho dispositivo 26 para detectar la rotación de un eje controlado comprende, por ejemplo:

- un emisor de un haz láser 27, adaptado para fijarse a una parte de la máquina, por ejemplo a la base 11, en un punto nodal, por ejemplo el punto nodal A referido a la base 11,
- 45 • un espejo totalmente reflectante 28, dispuesto de manera que forme parte integrante de una segunda parte de la máquina, por ejemplo la segunda parte 14 de la máquina, y situado en otro punto nodal, por ejemplo el punto nodal B, de manera que sea perpendicular al haz láser cuando se haya completado el calibrado,
- un sensor óptico de posición (PSD) 30, integrante del emisor láser 27, y por lo tanto referible al primer punto nodal A, colocado con una disposición perpendicular al plano del espejo 28 al finalizar el calibrado,
- 50 • un divisor de haz 31, colocado próximo al emisor láser 27 e integralmente con él, y por lo tanto referible al primer punto nodal A, y adaptado para permitir que el haz láser 29 pase a través del espejo 28 y desvíe el haz láser 32 reflejado hacia el sensor óptico 30.

- 55 De esta manera es posible detectar las rotaciones del espejo 28 alrededor de los ejes X2 y X3 en el segundo punto nodal B, siendo el espejo 28 parte integrante de la segunda parte 14 de la máquina, calculándolas a partir de las traslaciones de acuerdo con los ejes X2 y X3 del punto de luz reflejado, que son detectadas por el sensor óptico 30 e indicadas en la figura 3 con D2 y D3 respectivamente.

- 60 Los medios ópticos 19 comprenden, como alternativa al dispositivo 21 para detectar la traslación de un punto nodal de un eje controlado y al dispositivo 26 para detectar la rotación de un eje controlado, un dispositivo 35 para detectar simultáneamente la traslación de un punto nodal de un eje controlado a lo largo de dos ejes perpendiculares a ese mismo eje controlado, y la rotación de un eje controlado alrededor de dos ejes perpendiculares a ese mismo eje controlado.

- 65 Dicho dispositivo 35 para detectar simultáneamente la traslación y la rotación de un eje controlado, por ejemplo X1,

se muestra esquemáticamente en la figura 4.

Dicho dispositivo 35 para detectar simultáneamente la traslación y la rotación de un eje controlado, por ejemplo el eje X1, comprende, por ejemplo:

- un emisor de un haz láser 36, adaptado para fijarse a una parte de la máquina, por ejemplo a la base 11, y por tanto referible al primer punto nodal A,
- un espejo parcialmente reflectante 37, dispuesto de forma que forme parte integrante de una segunda parte de la máquina, por ejemplo la segunda parte 14 de la máquina, y por tanto referible al segundo punto nodal B, de forma que sea perpendicular al haz láser cuando se haya completado el calibrado,
- un primer sensor óptico de posición (PSD) 38, colocado detrás del espejo parcialmente reflectante e integrante del mismo y de la segunda parte de la máquina, y por tanto referible al segundo punto nodal B, y adaptado para bloquear el haz láser dirigido 39 para detectar las traslaciones relativas del emisor láser 36 con respecto al sensor óptico 38 de acuerdo con los ejes X2 y X3,
- un segundo sensor óptico de posición (PSD) 40, integral con el emisor láser 36, y por tanto referible al primer punto nodal A, colocado con una disposición perpendicular al plano del espejo 37 cuando se ha completado el calibrado, para detectar las rotaciones del espejo 37, y del primer sensor óptico 38, alrededor de los ejes X2 y X3, en el segundo punto nodal B,
- un divisor de haz 41, colocado próximo al emisor láser 36 e integralmente con él, y por lo tanto referible al primer punto nodal A, y adaptado para permitir que el haz láser 39 pase a través del espejo 37 y hacia el primer sensor óptico 38, y para desviar el haz láser reflejado 40 hacia el sensor óptico 42.

Como alternativa a dos dispositivos 21 consecutivos para detectar la traslación, uno para detectar la traslación de un primer punto nodal referido a un primer eje controlado X1, relativo a una primera parte de la máquina, por ejemplo la primera parte 12, y otro para detectar la traslación de un segundo punto nodal referido a un segundo eje controlado X2, relativo a una segunda parte de la máquina, por ejemplo la segunda parte 14, dispuesta de manera que se desplace a lo largo del eje X1 sobre la primera parte 12, los medios ópticos 19 pueden comprender un dispositivo 45 para detectar simultáneamente la traslación de dos puntos nodales referidos a ejes controlados correspondientes mutuamente perpendiculares, por ejemplo los ejes X1 y X2 de la figura 5, a lo largo de dos ejes perpendiculares a cada eje controlado.

Dicho dispositivo 45 para detectar simultáneamente la traslación de dos puntos nodales, por ejemplo B y C, que están referidos a ejes controlados mutuamente perpendiculares, por ejemplo el eje X1 y el eje X2, comprende:

- un emisor de un haz láser 46, adaptado para fijarse a una parte de la máquina, por ejemplo a la base 11, y por tanto referible al primer punto nodal A, y adaptado para funcionar paralelamente al eje X1,
- un primer sensor óptico de posición (PSD) 47, integrado en una segunda parte de la máquina, por ejemplo la segunda parte 14, y por tanto referible al segundo punto nodal B, y adaptado para bloquear el haz láser dirigido 48 para detectar las traslaciones relativas del emisor láser 46 con respecto al sensor óptico 47 de acuerdo con los ejes X2 y X3,
- un deflector 49 que transmite parcialmente el haz de luz, por ejemplo un pentaprisma parcialmente transmisivo, situado entre el emisor láser 46 y el primer sensor óptico 47, próximo e integrante de este último y de la segunda parte de la máquina, por ejemplo la segunda parte 14 de la máquina, y por lo tanto referible al segundo punto nodal B, que está adaptado para desviar el rayo láser 48 hacia un segundo sensor óptico de posición 50 que forma parte integrante de una tercera parte de la máquina, por ejemplo la tercera parte 16, y por lo tanto está referido al tercer punto nodal C, y está colocado de manera que tenga una disposición perpendicular al rayo láser desviado 51 cuando se haya completado la calibración.

Con dicho dispositivo 45 para detectar simultáneamente la traslación de dos puntos nodales referidos a dos ejes controlados, es posible detectar las traslaciones de los dos ejes X1 y X2 con un único emisor láser en lugar de con dos emisores láser.

Como alternativa a tres dispositivos 21 consecutivos para detectar la traslación, un primero para detectar la traslación de un primer punto nodal referido a un primer eje controlado X1, relativo a una primera parte de la máquina, por ejemplo la primera parte 12, un segundo para detectar la traslación de un segundo punto nodal referido a un segundo eje controlado X2, relativo a una segunda parte de la máquina, por ejemplo la segunda parte 14, y un tercero para detectar la traslación de un tercer punto nodal referido a un tercer eje controlado X3, relativo a una tercera parte de la máquina, por ejemplo la tercera parte 16, los medios ópticos 19 pueden comprender un dispositivo 55 para detectar simultáneamente la traslación de tres puntos nodales, por ejemplo los puntos nodales B, C y D, que están referidos a ejes controlados correspondientes mutuamente perpendiculares, por ejemplo los ejes X1, X2 y X3 de la figura 6.

Dicho dispositivo 55 para detectar simultáneamente la traslación de tres ejes controlados mutuamente perpendiculares comprende:

- un emisor de un haz láser 56, adaptado para fijarse a una parte de la máquina, por ejemplo a la base 11, y por tanto referible al primer punto nodal A, y adaptado para funcionar paralelamente al eje X1,
- un primer sensor óptico de posición (PSD) 57, integrado en una segunda parte de la máquina, por ejemplo la segunda parte 14, y por tanto referible al segundo punto nodal B, y adaptado para bloquear el haz láser dirigido 58 para detectar las traslaciones relativas del emisor láser 56 con respecto al sensor óptico 57 de acuerdo con los ejes X2 y X3,
- un primer deflector que transmite parcialmente el haz de luz 59, por ejemplo un pentaprisma parcialmente transmisivo, situado entre el emisor láser 56 y el primer sensor óptico 57, próximo e integrante de este último y de la segunda parte de la máquina, por ejemplo la segunda parte 14 de la máquina, y por lo tanto referible al segundo punto nodal B, que está adaptado para desviar el rayo láser 58 hacia un segundo sensor óptico de posición 60 que forma parte integrante de una tercera parte de la máquina, por ejemplo la tercera parte 16, y por lo tanto está referido al tercer punto nodal C, y está colocado de manera que tenga una disposición perpendicular al rayo láser desviado 61 cuando se haya completado la calibración,
- un segundo deflector que transmite parcialmente el haz de luz 64, por ejemplo un pentaprisma parcialmente transmisivo, colocado entre el primer deflector parcialmente transmisivo 59 y el segundo sensor óptico 60, dispuesto próximo e integrante de este último y de la tercera parte de la máquina, por ejemplo la tercera parte 16 de la máquina, y por lo tanto referible al tercer punto nodal C, que está adaptado para desviar el rayo láser 58 hacia un tercer sensor óptico de posición 62 que es integral con dicha tercera parte de la máquina, por ejemplo la tercera parte 16, y está posicionado de manera que tenga una disposición perpendicular al rayo láser desviado 63 cuando se completa la calibración.

Dicho dispositivo 55 comprende además un elemento de reflexión de 180° 65, por ejemplo un prisma reflector cúbico, conocido como "reflector de esquina", diseñado para estar dispuesto de manera que sea integral con un cabezal de mecanizado 18, y por lo tanto referible al cuarto punto nodal D, pudiendo dicho cabezal de mecanizado 18 moverse con respecto a la tercera parte 16 de la máquina.

Con el uso de dicho elemento de reflexión de 180° 65, se hace uso de un elemento pasivo por medio del cual es posible no utilizar, en el cabezal de mecanizado 18, componentes que transportan corriente eléctrica y que, por lo tanto, podrían afectar negativamente al funcionamiento del cabezal de mecanizado 18.

Con dicho dispositivo 55 para detectar simultáneamente la traslación de tres puntos nodales referidos cada uno a uno de tres ejes controlados, es posible detectar las traslaciones de tres ejes X1, X2 y X3 con un único emisor láser en lugar de con tres emisores láser.

Para detectar deformaciones debidas a la traslación de la parte de la máquina que soporta el cabezal de mecanizado 18, por ejemplo la tercera parte 16, los medios 19 de detección y monitorización pueden comprender un dispositivo 66 para detectar la traslación del eje controlado X3, con respecto al cual se desliza el cabezal de mecanizado 18, a lo largo de dos ejes que son mutuamente perpendiculares X1 y X2.

Dicho dispositivo 66, mostrado a efectos de ejemplo en la figura 7, comprende un emisor láser 67 que es integral con la tercera parte 16 de la máquina, referible al tercer punto nodal C, un elemento de reflexión de 180° 68, referible al cuarto punto nodal D, que es integral con el cabezal de mecanizado 18, y un sensor óptico de posición 69 que es integral con la tercera parte 16 de la máquina, referible al tercer punto nodal C, hacia el cual se desvía el haz láser.

En la primera realización de la figura 1, que es ilustrativa y no limitativa de la invención, para detectar y monitorizar los desplazamientos lineales, es decir, las traslaciones, de los puntos nodales B, C y D referidos a los tres ejes X1, X2 y X3, los medios de detección y monitorización 19 comprenden:

- un emisor láser 56, que forma parte integrante de la base 11,
- un primer sensor óptico PSD 57, que forma parte integrante de la segunda parte 14, con un primer deflector correspondiente que transmite parcialmente el haz luminoso 59,
- un segundo sensor óptico PSD 60, que forma parte integrante de la tercera parte 16, con un segundo deflector respectivo que transmite parcialmente el haz luminoso 64,
- un tercer sensor óptico PSD 62, que forma parte integrante de la tercera parte 16,
- un elemento de reflexión de 180° 65, preajustado para estar integrado en el cabezal de mecanizado 18.

Para detectar y monitorizar los desplazamientos angulares de los ejes X1, X2 y X3, de nuevo en los puntos nodales B, C y D, los medios 19 de detección y monitorización comprenden:

- un primer dispositivo 26 para detectar la rotación de un primer eje controlado X1, con un emisor de un haz láser 27, que está fijado a la base 11, y un espejo totalmente reflectante 28, que forma parte integrante de la segunda parte 14 de la máquina,
- un segundo dispositivo 26a para detectar la rotación de un segundo eje controlado X2, con un emisor de un haz láser 27a, que está fijado a la base 11, y un espejo totalmente reflectante 28a, que forma parte integrante

- de la tercera parte 16 de la máquina,
- un tercer dispositivo 26b para detectar la rotación de un tercer eje controlado X3, con un emisor de un rayo láser 27b, que está fijado a la tercera parte 16, y un espejo totalmente reflectante 28b, que forma parte integrante del cabezal de mecanizado 18.

5 Con tales medios de detección y monitorización 19, se detectan desplazamientos lineales y angulares de los tres ejes X1, X2 y X3 con el mínimo de componentes.

10 Los sensores ópticos PSD y los emisores láser son gestionados por placas electrónicas correspondientes.

Dichas tarjetas electrónicas están conectadas por medio de un canal de comunicación digital a una unidad central de control y gestión que lleva a cabo la comunicación real con el CNC (Control Numérico por Ordenador) de la máquina herramienta 10.

15 Cada placa electrónica tiene, a bordo, un controlador para la funcionalidad y el encendido a la orden lógica de la unidad central de control y gestión, dicha unidad central de control y gestión también se encarga del diagnóstico y la supervisión de todo el sistema.

20 La unidad central de control y gestión puede programar directamente cada placa electrónica individual con el fin de establecer parámetros tales como el tiempo de muestreo y el número de muestras a realizar para cada adquisición.

Existen cuatro modos lógicos de funcionamiento, que son los siguientes:

- diagnóstico: el CNC verifica el estado de salud del sistema, salvo errores de comunicación, superación de umbrales de temperatura y mal funcionamiento de emisores láser y sensores ópticos PSD;
- calibración, que se produce de acuerdo con un procedimiento exacto: el CNC mueve un eje controlado cada vez y adquiere las lecturas de los sensores ópticos PSD en puntos predeterminados a lo largo del eje; dichos valores pueden almacenarse en el CNC o en la unidad central de control y gestión, donde son utilizados por un algoritmo de regresión polinómica para calcular los parámetros de la curva de referencia. Todo ello se realiza para cada eje, de forma que cada salida de los sensores ópticos PSD tiene su propia curva de referencia, hallada mediante el cálculo del polinomio por puntos, independientemente de los demás ejes.

35 Los valores utilizados son siempre los en salida de las placas a bordo de los sensores ópticos, por lo tanto son el resultado de una media de un segundo de adquisición.

- medición: el CNC solicita la medición de los desplazamientos. En este modo el sistema recoge las distintas salidas de los sensores, y además solicita al CNC las alturas y, si están almacenados en él, los parámetros de los polinomios, luego ejecuta el algoritmo de medida y devuelve la tripleta de valores, respecto a los tres ejes X1, X2 y X3, de desviación respecto a los valores de calibración.
- escaneado: el CNC ejecuta una medida en cada punto para su calibrado, almacena la diferencia y devuelve las distintas diferencias a lo largo del eje en un formato a decidir (tabla, gráfico, estado OK-KO, y similares).

45 El ámbito de este modo es dar información sobre el estado de la máquina en poco tiempo y de forma fácilmente comparable con la calibración, de ahí la razón de la comparación en los mismos puntos.

Todas las placas electrónicas que gestionan los sensores realizan directamente la conversión analógica/digital de las señales necesarias y transfieren los datos por medio del canal de comunicación.

50 Las tarjetas electrónicas realizan la adquisición de las señales correspondientes cada vez que la unidad central envía un comando de adquisición, respondiendo con el valor digital de la señal adquirida.

El número de muestras a tomar durante la adquisición será establecido directamente por cada tarjeta en base a los datos de programación enviados por la unidad central antes de iniciar el modo de adquisición.

55 Es posible comprobar y descargar actualizaciones del software utilizado directamente, por medio del CNC de la máquina herramienta 10, ya que el CNC puede operar como servidor de una red local interna, y por medio de comandos adaptados también es posible recibir el estado de funcionamiento de los medios de detección y monitorización 19.

60 La unidad de control y gestión de los medios de detección y monitorización 19 interactúa con el CNC, proporcionando en cada tiempo de muestreo la serie de datos detectados.

Un programa cargado en el CNC gestiona los datos y realiza la compensación dimensional necesaria.

65 La unidad de control y gestión de los medios de detección y monitorización 19 está provista además de un

procedimiento de calibración y autodiagnóstico, que interactúa directamente con el CNC.

Los sensores del sistema de control se pueden conectar al CNC a través de una Ethernet.

5 Es preferible que en cada placa electrónica de cada sensor óptico individual se realice directamente la conversión analógico/digital, y que todos los sensores interactúen con la unidad electrónica de control y gestión por medio de datos digitales, con el fin de reducir los problemas debidos a errores analógicos, con el fin de disminuir el número de cables necesarios, y con el fin de obtener operaciones sencillas de mantenimiento y asistencia.

10 Los datos correspondientes a las desviaciones dimensionales y a las deformaciones de las piezas de la máquina herramienta 10 están adaptados para ser utilizados en operaciones de compensación de dichas desviaciones y deformaciones.

15 La actividad de compensación automática de deformaciones mecánicas de la máquina herramienta 10 sigue el siguiente método operativo:

- la unidad electrónica de control y gestión de los medios de detección y supervisión 19 envía todas las mediciones realizadas al CNC de la máquina herramienta, a través del canal Ethernet,
- un programa cargado en el CNC procesa y guarda dicha información en un archivo;
- 20 • un programa de compensación cargado en el CNC realiza la verificación de las desviaciones a bordo de la máquina, y en este punto implementa dos posibles procedimientos alternativos de compensación, de acuerdo con la gravedad de las desviaciones detectadas:
 - un procedimiento automático, para el caso en que las deformaciones mecánicas identificadas sean de modesto alcance, y en el que el CNC accione los actuadores controlados de la máquina herramienta para corregir los errores de recorte;
 - un procedimiento no automático, es decir, manual, para el caso en que las deformaciones mecánicas identificadas sean de magnitud media/grande; dicho procedimiento conlleva algunas operaciones manuales por parte de los operadores de asistencia mecánica, con el fin de restablecer la estructura de la máquina herramienta a un estado mínimo de funcionalidad que permita utilizar la máquina respetando las características mínimas de funcionalidad y precisión, y especialmente que permita utilizar el procedimiento automático de compensación.

35 En una segunda realización de la máquina herramienta de acuerdo con la invención, designada con el número de referencia 110 en la figura 8, e ilustrativa de una solución dedicada de un caso peculiar en el que sólo se desea detectar un elemento, que es la desviación lineal de un único punto nodal de referencia B, referido a una primera pieza 12 de la máquina 10 correspondiente a su vez a un eje controlado X1, con respecto a un punto nodal de referencia A asociado a la base 11, comprendiendo los medios ópticos 119 de detección y monitorización de la posición de uno o varios de los ejes controlados X1, X2, X3 un único dispositivo 21 de detección de la traslación del punto nodal B, a lo largo de dos ejes, X2 y X3, perpendiculares al eje controlado X1.

40 Dicho dispositivo 21 para detectar la traslación de un eje controlado comprende un emisor de un rayo láser 22, adaptado para ser fijado a la base 11, y referible al primer punto nodal A, y un elemento para recibir la señal luminosa, por ejemplo un sensor óptico de posición 23, que es integral con la segunda parte 14 y referible al segundo punto nodal B.

45 En una tercera realización de la máquina herramienta de acuerdo con la invención, designada con el número de referencia 210 en la figura 9, e ilustrativa de una solución dedicada de un caso peculiar en el que se han de detectar dos elementos, que son las desviaciones lineales de dos puntos nodales de referencia B y C para dos partes correspondientes de la máquina y para los respectivos ejes controlados, los medios ópticos de detección y monitorización 219 que comprenden un primer dispositivo 21 para detectar la traslación del eje X1, a lo largo de dos ejes, X2 y X3, perpendiculares al eje controlado, y un segundo dispositivo 21a para detectar la traslación del eje X2, a lo largo de dos ejes, X1 y X3, perpendiculares al eje controlado.

55 Como alternativa, para controlar las desviaciones lineales de dos ejes, es posible tener un dispositivo 45, como se muestra en la figura 5, para detectar simultáneamente la traslación de dos ejes controlados mutuamente perpendiculares, por ejemplo el eje X1 y el eje X2.

60 En una cuarta realización de la máquina herramienta de acuerdo con la invención, designada con el número de referencia 310 en la figura 10, e ilustrativa de una solución dedicada de un caso peculiar en el que los elementos a detectar son las desviaciones lineales de tres puntos nodales B, C y D, los medios ópticos de detección y monitorización 319 comprenden un dispositivo 55 para detectar simultáneamente la traslación de tres ejes controlados mutuamente perpendiculares, tal como se ha descrito anteriormente.

65 De dicho dispositivo 55 para detectar simultáneamente la traslación de tres ejes controlados, la figura 10 muestra:

- un emisor de un haz láser 56, fijado a la base 11,
- un primer sensor óptico de posición (PSD) 57, integrado en la segunda parte de la máquina 14, y adaptado para bloquear el haz láser dirigido 58 para detectar las traslaciones relativas del emisor láser 56 con respecto al sensor óptico 57 de acuerdo con los ejes X2 y X3,
- un primer deflector que transmite parcialmente el haz luminoso 59, colocado entre el emisor láser 56 y el primer sensor óptico 57, próximo a este último e integrante del mismo y de la segunda parte de la máquina 14,
- un segundo sensor óptico de posición 60 que forma parte integrante de la tercera parte de la máquina 16,
- un segundo deflector que transmite parcialmente el haz de luz 64, colocado entre el primer deflector parcialmente transmisivo 59 y el segundo sensor óptico 60, dispuesto próximo a este último e integral con él y con la tercera parte de la máquina 16, que está adaptado para desviar el haz láser 58 hacia un tercer sensor óptico de posición 62 que es integral con dicha tercera parte de la máquina, y está colocado de modo que tenga una disposición perpendicular al haz láser desviado 63 cuando se haya completado la calibración;
- un elemento de reflexión de 180° 65, por ejemplo un prisma reflector cúbico o "reflector de esquina", diseñado para estar dispuesto de manera que forme parte integrante de un cabezal de mecanizado 18, pudiendo este último desplazarse con respecto a la tercera parte 16 de la máquina.

En una quinta realización de la máquina herramienta de acuerdo con la invención, designada con el número de referencia 410 en la figura 11, los medios de detección y monitorización 419 comprenden un primer dispositivo 26 para detectar la rotación del eje X2, alrededor de dos ejes, X1 y X3, que son perpendiculares a dicho eje controlado, un segundo dispositivo 26a para detectar la rotación del eje X3, alrededor de dos ejes, X1 y X2, perpendiculares a dicho eje controlado, un dispositivo 21 para detectar la traslación del eje X2 con respecto a dos ejes X1 y X3 perpendiculares al mismo, y un dispositivo 66 para detectar la traslación del eje controlado X3, con respecto al cual se desliza la cabezal de mecanizado 18, a lo largo de dos ejes perpendiculares entre sí X1 y X2.

En dicha quinta realización de la máquina herramienta de acuerdo con la invención, el dispositivo de referencia 420 es integral no con la base 411 sino con la segunda parte 414 de la máquina herramienta 410, por lo que un primer punto nodal de referencia está constituido por el punto nodal B referido a la segunda parte 414 de la máquina, un segundo punto nodal de referencia está constituido por el punto nodal de referencia C para la tercera parte 416 de la máquina, y un tercer punto nodal de referencia está constituido por el punto nodal de referencia D para el cabezal de mecanizado 418; tal solución es practicable si, por ejemplo, la primera parte 413 es integral con la base 411 y está estructurada de manera que sus deformaciones sean sustancialmente despreciables o totalmente detectables por medio de los medios de verificación de posición que ya están integrados en la máquina herramienta 410.

Debe entenderse que el objeto de la invención incluye todas las combinaciones de los dispositivos 21, 26, 35, 45, 55 y 66 descritos anteriormente, así como cualquier variación de realización que sea similar y equivalente, de acuerdo con las deformaciones que se desee detectar y monitorizar.

En una sexta realización de esta, una máquina herramienta de acuerdo con la invención se muestra esquemáticamente en la figura 12 y se designa en la misma con el número de referencia 510.

La máquina herramienta 510 es de tipo pórtico, con una primera parte 512 que está constituida por dos resaltes opuestos 512a y 512b que están fijados a la base 511, una segunda parte 514 que está dispuesta sobre cada resalte de manera que se desliza a lo largo de un primer eje controlado X1 y que está constituida por dos torretas opuestas 514a y 514b, que pueden deslizarse en una disposición paralela sobre los dos resaltes 512a y 512b, que soportan un travesaño 514c.

Una tercera parte 516 se desliza a lo largo de un segundo eje controlado X2 sobre el travesaño 514c, y está constituida por ejemplo por un deslizador, soportando el cabezal de mecanizado 518 que está adaptado para desplazarse a lo largo de un tercer eje X3.

Los medios de detección y monitorización 519 comprenden unos primeros medios 519a para detectar y monitorizar las deformaciones de los resaltes 512a y 512b, y unos segundos medios 519b para detectar y monitorizar las deformaciones del travesaño 514c y del cabezal de mecanizado 518.

Los primeros medios de detección y monitorización 519a se muestran a modo de ejemplo, en una primera variante de realización de estos, en la figura 13, en la que se muestra esquemáticamente un primer resalte 512a, entendiéndose que el segundo resalte opuesto 512b está dispuesto de la misma manera.

Dichos primeros medios de detección y monitorización 519a comprenden dos dispositivos 21 y 21a para detectar la traslación de los puntos donde se aplica el correspondiente sensor óptico 23 y 23a con respecto a los puntos donde se posiciona el correspondiente emisor láser 22 y 22a, siendo estos últimos elementos integrantes de la base 511.

Los dos dispositivos de detección de la traslación 21 y 21a se colocan de manera que funcionen con rayos láser

paralelos, próximos a los bordes laterales de cada resalte 512a y 512b.

A partir de los datos de desviación detectados para los dos resaltes 512a y 512b, se determina un primer punto nodal de referencia al que referir las deformaciones de las restantes partes segunda 514 y tercera 516 de la máquina herramienta 510, es decir, las desviaciones y las rotaciones de los otros puntos nodales de referencia.

Los primeros medios de detección y monitorización se muestran a título de ejemplo, en una segunda variante de realización de estos, en la figura 14, donde se designan genéricamente con el número de referencia 619a y donde se muestra esquemáticamente un primer resalte 512a, entendiéndose que el segundo resalte 512b opuesto está dispuesto de la misma manera.

Tales primeros medios 619a comprenden un único emisor láser 46, un deflector que transmite parcialmente el haz de luz 49, y dos sensores ópticos 47 y 50, de manera similar a lo descrito anteriormente para el dispositivo 45 de detección y monitorización de las traslaciones de dos ejes, más un reflector 80 adaptado para desviar el haz de luz 90°.

El emisor láser 46, integral con la base en una primera esquina inferior del resalte 512a, emite un haz hacia un primer sensor óptico 47 dispuesto próximo a la esquina superior del resalte 512a, por encima del emisor láser 46.

El deflector que transmite parcialmente el haz de luz 49 desvía una parte del haz de luz hacia el reflector 80 posicionado en la segunda esquina inferior del resalte 512a; el deflector 80 desvía el haz de luz hacia el segundo sensor óptico 50, posicionado próximo a la esquina superior del resalte 512a por encima del reflector 80.

Tales primeros medios 619a tienen un emisor láser menos con respecto a los primeros medios 519a.

Los segundos medios de detección y monitorización 519b comprenden un dispositivo para detectar simultáneamente la traslación de dos ejes controlados mutuamente perpendiculares, es decir, el eje X2 y el eje X3, como se ha descrito anteriormente, es decir, que comprende:

- un emisor de un haz láser 46, fijado a una torreta 514a, y dispuesto de forma que funcione paralelamente al eje X2,
- un primer sensor óptico de posición (PSD) 47, integrado en la tercera parte de la máquina 516,
- un deflector que transmite parcialmente el haz de luz 49, por ejemplo un pentaprisma parcialmente transmisivo, situado entre el emisor láser 46 y el primer sensor óptico 47, próximo a este último e integrante del mismo y de la tercera parte de la máquina 516, que está adaptado para desviar el haz láser hacia un elemento de reflexión de 180° 68 por ejemplo, un prisma reflector cúbico o "reflector de esquina", que está fijado al cabezal 518 y está a su vez diseñado para desviar el haz láser hacia un segundo sensor óptico de posición 50 que forma parte integrante de la tercera parte de la máquina 516, y está colocado de manera que tenga una disposición perpendicular con respecto al primer sensor 47.

En particular, con la invención se ha ideado una máquina herramienta con la que es posible determinar con precisión las desviaciones del cabezal de mecanizado con respecto a las posiciones y trayectorias de funcionamiento especificadas, para poder corregirlas, restableciendo así periódicamente la precisión de funcionamiento necesaria en la máquina.

Además, con la invención se ha ideado un aparato para determinar tales desviaciones.

Además, con la invención se ha ideado una máquina herramienta rápidamente adaptable a las condiciones ambientales y vibratorias de funcionamiento, gracias a la capacidad de detectar desviaciones lineales y desviaciones angulares estructurales, debidas también a las condiciones ambientales y vibratorias, y por tanto de compensar dichas desviaciones.

La invención, así concebida, es susceptible de numerosas modificaciones y variaciones, todas las cuales están dentro del ámbito de las reivindicaciones anexas.

Cuando las características técnicas mencionadas en cualquier reivindicación van seguidas de signos de referencia, dichos signos de referencia se han incluido con el único fin de aumentar la inteligibilidad de las reivindicaciones y, en consecuencia, dichos signos de referencia no tienen ningún efecto limitativo en la interpretación de cada elemento identificado a modo de ejemplo por dichos signos de referencia.

REIVINDICACIONES

1. Una máquina herramienta de control numérico cartesiano (10) para mecanizado de alta precisión, que comprende:

- una base (11),
- una primera parte (12; 512) con unos primeros medios de movimiento (13) para el movimiento de una segunda parte (14; 514) con respecto a un primer eje controlado (X1), estando dicha primera parte (12; 512) montada sobre dicha base (11);
- una segunda parte (14) con unos segundos medios de movimiento (15) para el movimiento de una tercera parte (16; 516) con respecto a un segundo eje controlado (X2),
- la tercera parte (16; 516) con terceros medios de movimiento (17) para el movimiento de un cabezal de mecanizado (18) con respecto a un tercer eje controlado (X3),
- un cabezal de mecanizado (18; 518),
- al menos un punto nodal de referencia (A, B, C, D) para cada uno de dichos ejes controlados (X1, X2, X3) con respecto a un dispositivo de referencia (20) que forma parte integrante de dicha máquina herramienta (10), en el que un punto nodal de referencia (A) se establece en dicha base (11), un punto nodal de referencia (B) se establece en dicha primera parte (12; 512), un punto nodal de referencia (C) se establece en dicha segunda parte (14) y un punto nodal de referencia (D) se establece en dicha tercera parte (16; 516),
- a bordo, unos medios ópticos (19; 519) para detectar y monitorizar la posición del al menos un punto nodal de referencia (B, C, D) para cada uno de uno o varios de dichos ejes controlados (X1, X2, X3) con respecto a dicho dispositivo de referencia (20), siendo dicho dispositivo de referencia (20) parte integrante de la base (11) y estando asociado al punto nodal de referencia (A) establecido en la base (11).

2. La máquina herramienta cartesiana de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizada por que dichos medios ópticos (19) comprenden al menos un dispositivo (21) para detectar la traslación de un punto nodal de referencia para un eje controlado a lo largo de dos ejes perpendiculares a dicho eje controlado.

3. La máquina herramienta cartesiana de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que dichos medios ópticos (19) comprenden al menos un dispositivo (26) para detectar la rotación de un eje controlado alrededor de dos ejes perpendiculares a dicho eje controlado, en un punto nodal de referencia.

4. La máquina herramienta cartesiana de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que dichos medios ópticos (19) comprenden al menos un dispositivo (35) para detectar simultáneamente la traslación de un punto nodal de un eje controlado a lo largo de dos ejes perpendiculares a dicho eje controlado, y la rotación de un eje controlado alrededor de dos ejes perpendiculares a dicho eje controlado en el mismo punto nodal de referencia.

5. La máquina herramienta cartesiana de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que dichos medios ópticos (19) comprenden al menos un dispositivo (45) para detectar simultáneamente la traslación de dos puntos nodales de referencia, cada uno referido a un eje de dos ejes controlados, mutuamente perpendiculares, a lo largo de dos ejes perpendiculares a cada eje controlado.

6. La máquina herramienta cartesiana de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que dichos medios ópticos (19) comprenden al menos un dispositivo (55) para detectar simultáneamente la traslación de los puntos nodales, cada uno referido a uno de tres ejes controlados, que son mutuamente perpendiculares.

7. La máquina herramienta cartesiana de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que dichos medios ópticos (19) comprenden al menos un dispositivo (66) para detectar la traslación de un eje controlado (X3), respecto del cual se desliza el cabezal de mecanizado (18), a lo largo de dos ejes mutuamente perpendiculares (X1, X2).

8. La máquina herramienta cartesiana de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que dichos medios ópticos (19) comprenden:

- un dispositivo (55) para detectar simultáneamente la traslación de los puntos nodales, cada uno referido a uno de los tres ejes controlados, que a su vez comprende:
 - un emisor láser (56), que forma parte integrante de la base (11),
 - un primer sensor óptico PSD (57), que forma parte integrante de la segunda parte (14), con un primer deflector correspondiente que transmite parcialmente el haz luminoso (59),
 - un segundo sensor óptico PSD (60), que forma parte integrante de la tercera parte (16), con un segundo deflector respectivo que transmite parcialmente el haz luminoso (64),
 - un tercer sensor óptico PSD (62), que forma parte integrante de la tercera parte (16),
 - un elemento de reflexión de 180° (65), preajustado para estar dispuesto de manera que forme parte integrante del cabezal de mecanizado (18), y además:

- un primer dispositivo (26) para detectar la rotación de un primer eje controlado (X1), con un emisor de un

haz láser (27), que está fijado a la base (11), y un espejo totalmente reflectante (28), que forma parte integrante de la segunda parte (14) de la máquina,

- un segundo dispositivo (26a) para detectar la rotación de un segundo eje controlado (X2), con un emisor de un haz láser (27a), que está fijado a la segunda parte (14), y un espejo totalmente reflectante (28a), que forma parte integrante de la tercera parte (16) de la máquina,

- un tercer dispositivo (26b) para detectar la rotación de un tercer eje controlado (X3), con un emisor de un haz láser (27b), que está fijado a la tercera parte (16), y un espejo totalmente reflectante (28b), que forma parte integrante del cabezal de mecanizado (18).

9. La máquina herramienta cartesiana de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizada por que es de tipo pórtico, estando constituida la primera parte (512) por dos resaltes contrapuestos (512a, 512b) que se fijan a la base (511), la segunda parte (514) está dispuesta sobre cada resalte de manera que se desliza a lo largo de un primer eje controlado (X1) y está constituida por dos torretas opuestas (514a, 514b), que pueden deslizarse en disposición paralela sobre los dos resaltes (512a, 512b), que soportan un travesaño (514c), deslizándose la tercera parte (516) sobre dicho travesaño (514c) a lo largo de un segundo eje controlado (X2) y soportando el cabezal de mecanizado (518) que está adaptado para desplazarse a lo largo de un tercer eje (X3), dichos medios de detección y monitorización (519) comprenden unos primeros medios (519a) para detectar y monitorizar las deformaciones de los resaltes (512a, 512b), y unos segundos medios (519b) para detectar y monitorizar las deformaciones del travesaño (514c) y del cabezal de mecanizado (518).

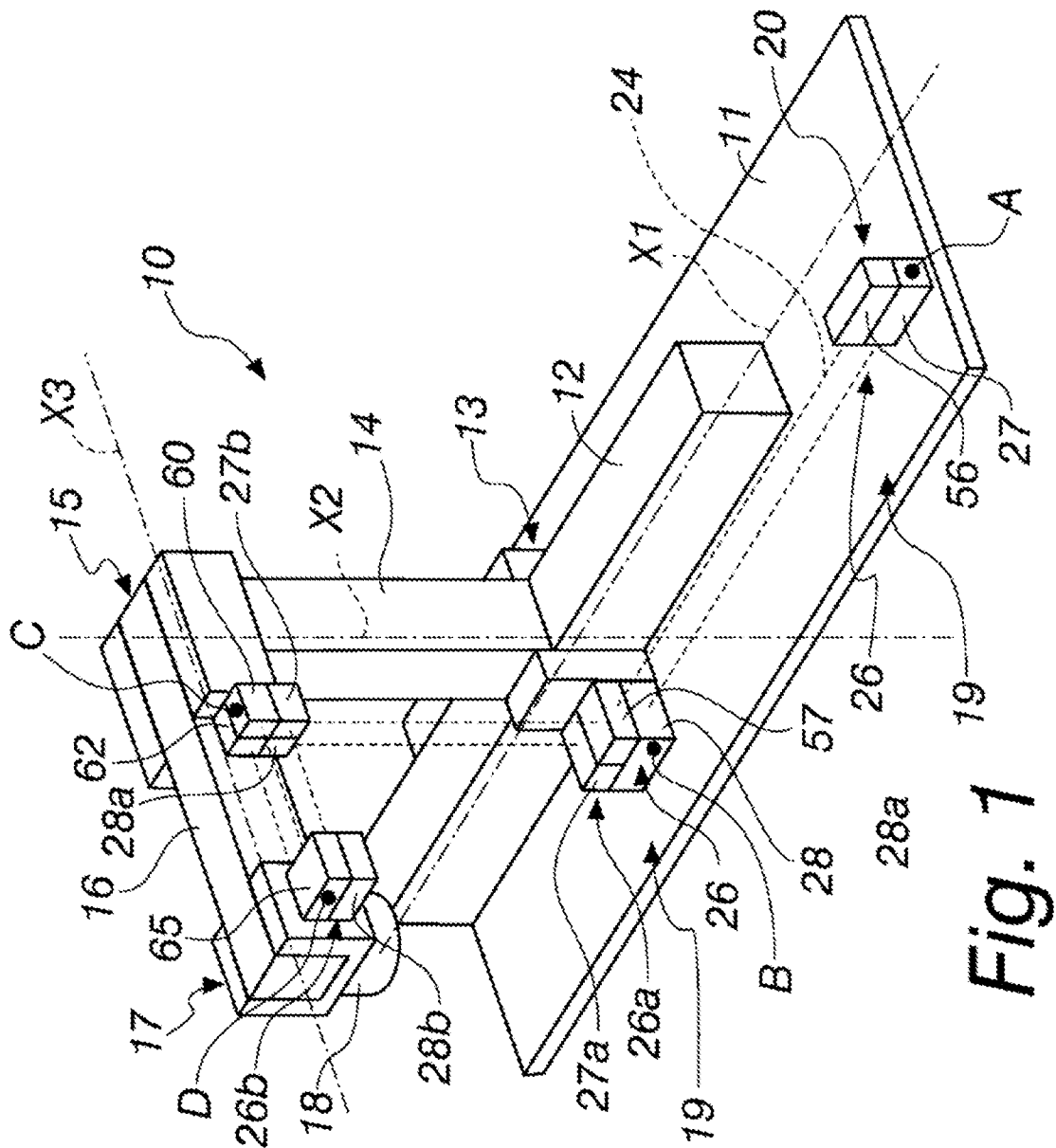
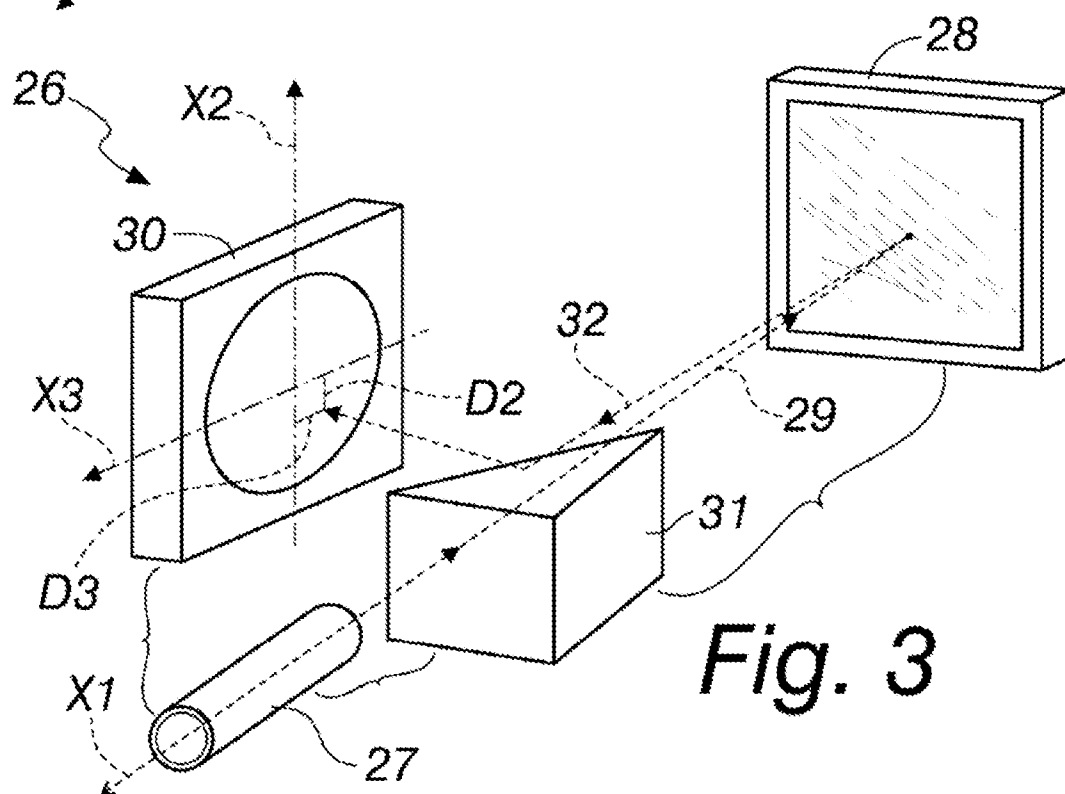
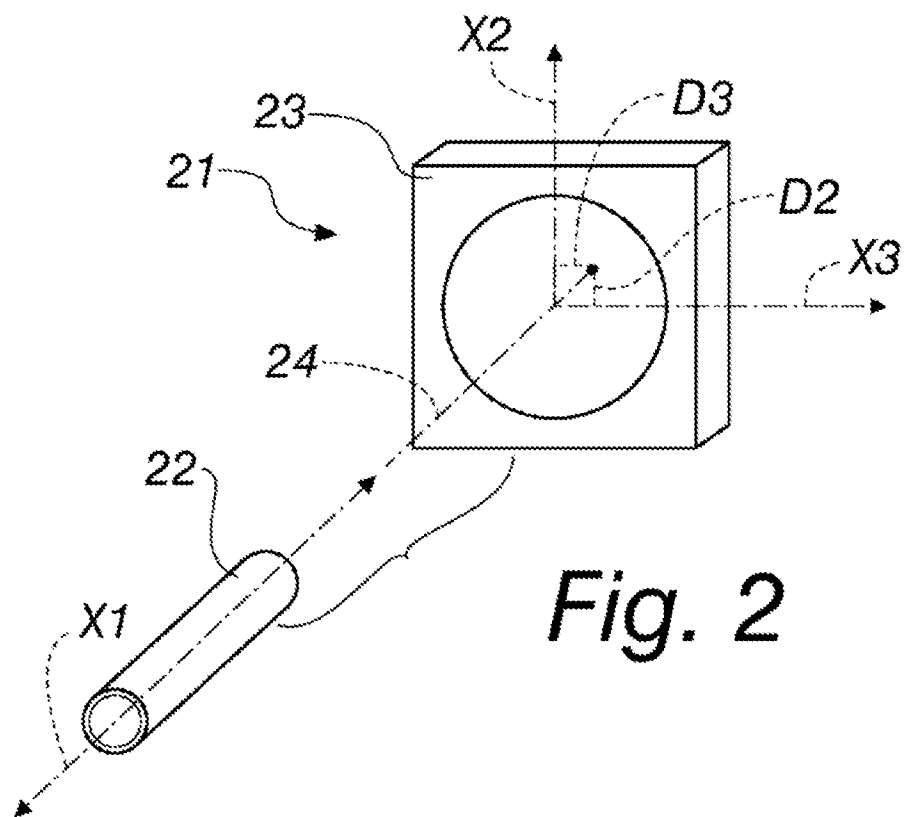
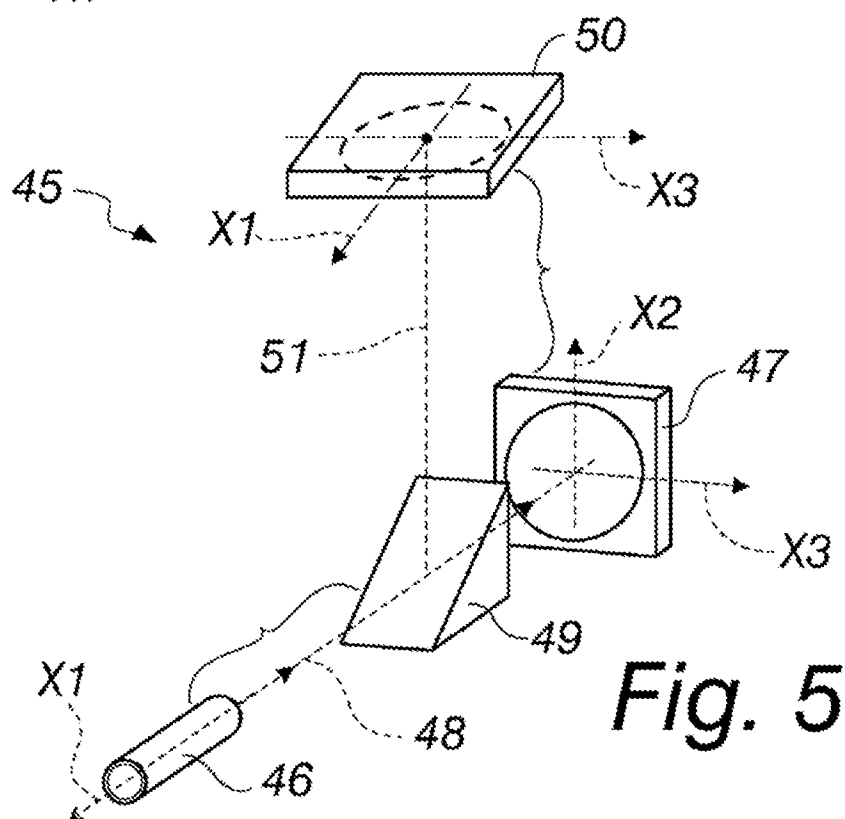
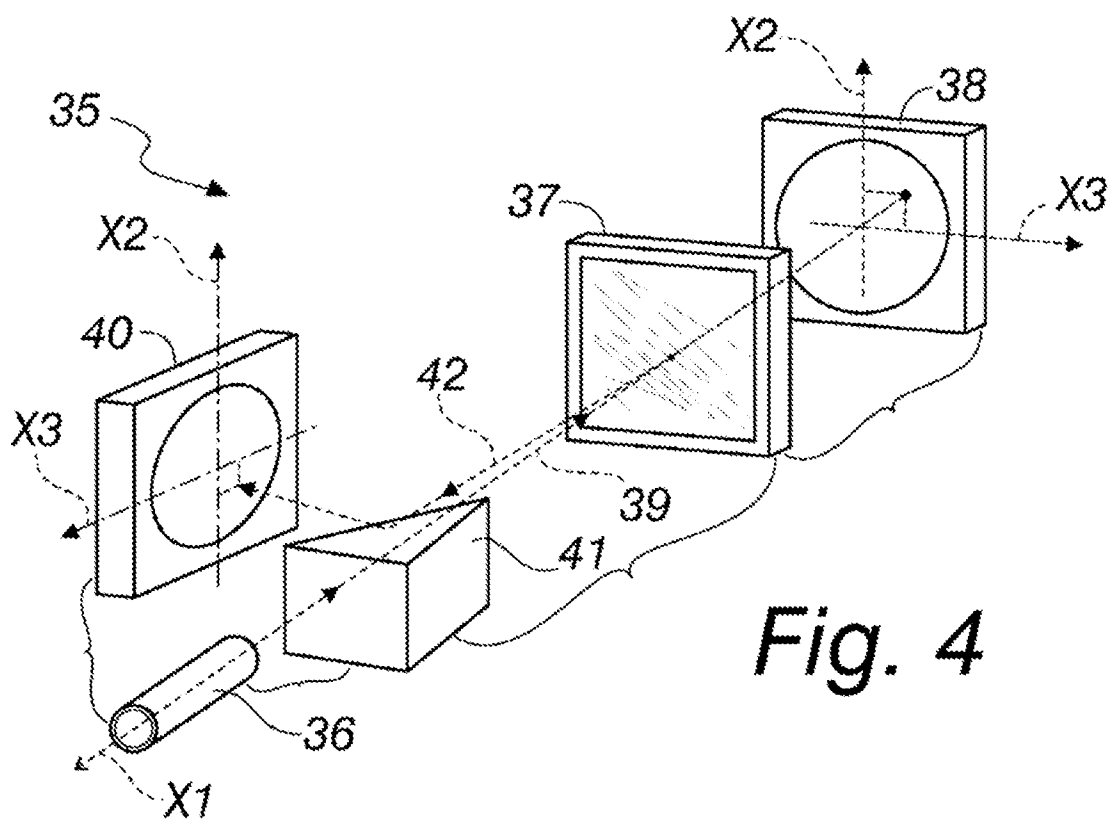
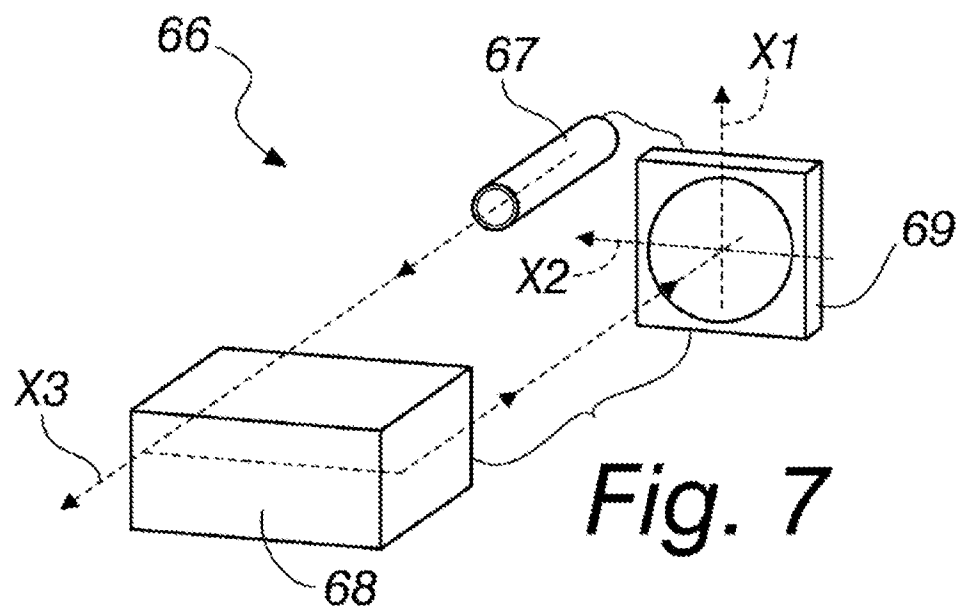
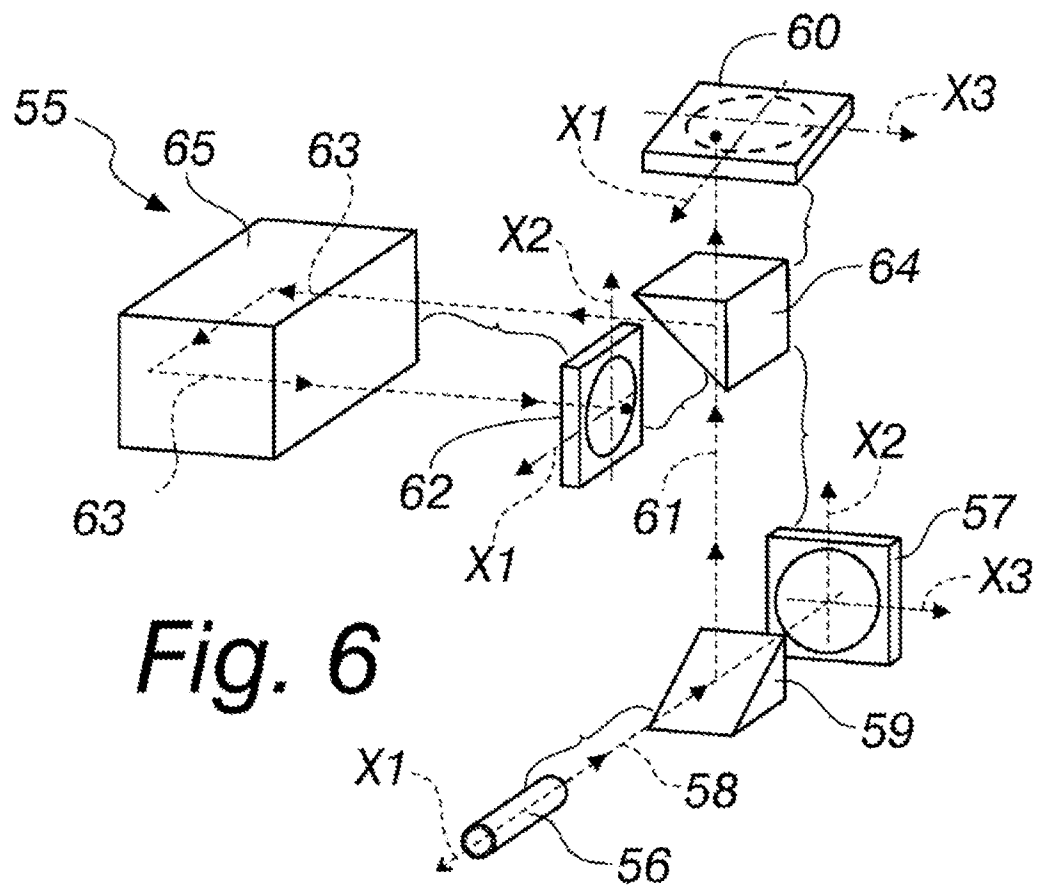


Fig. 1







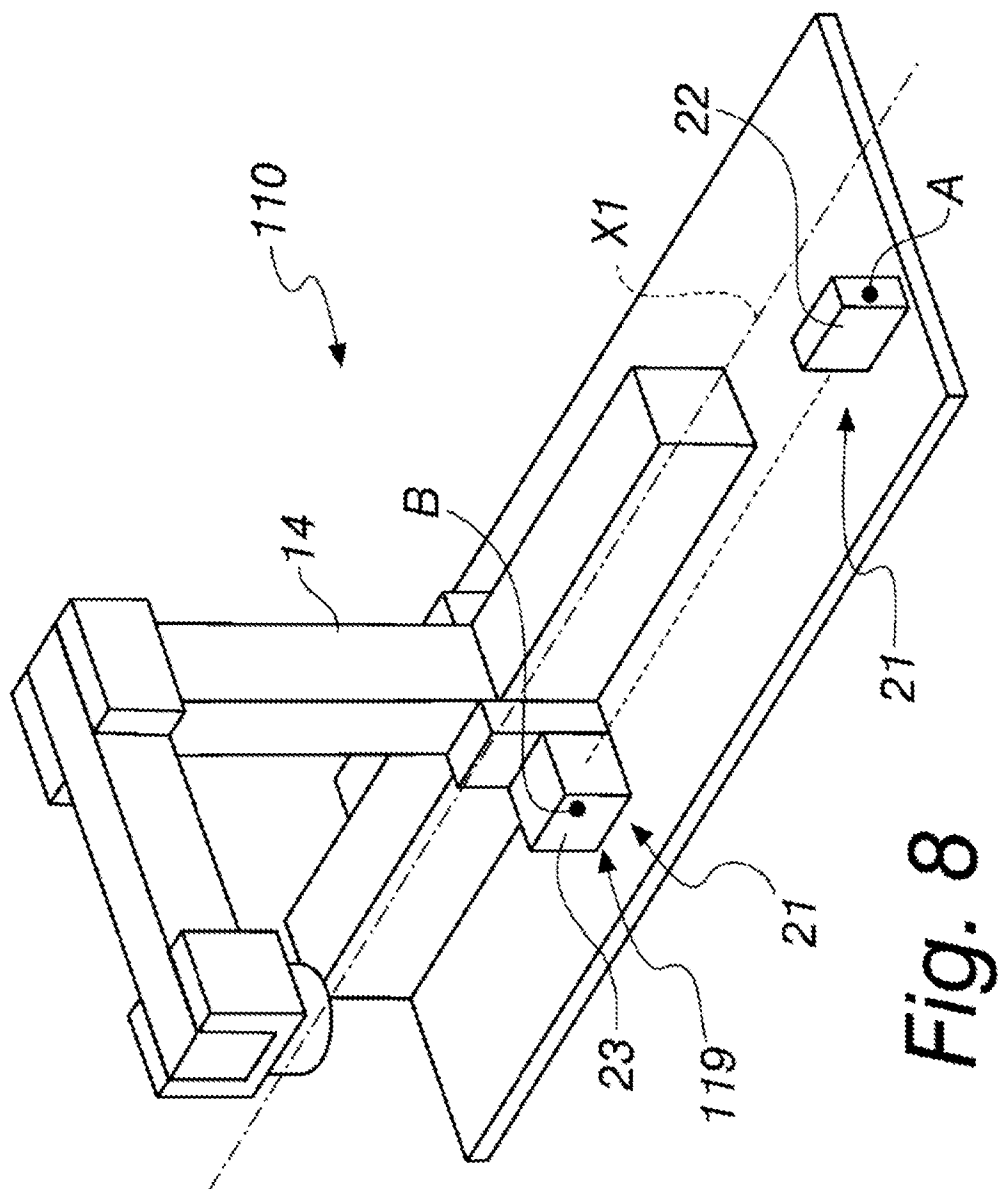


Fig. 8

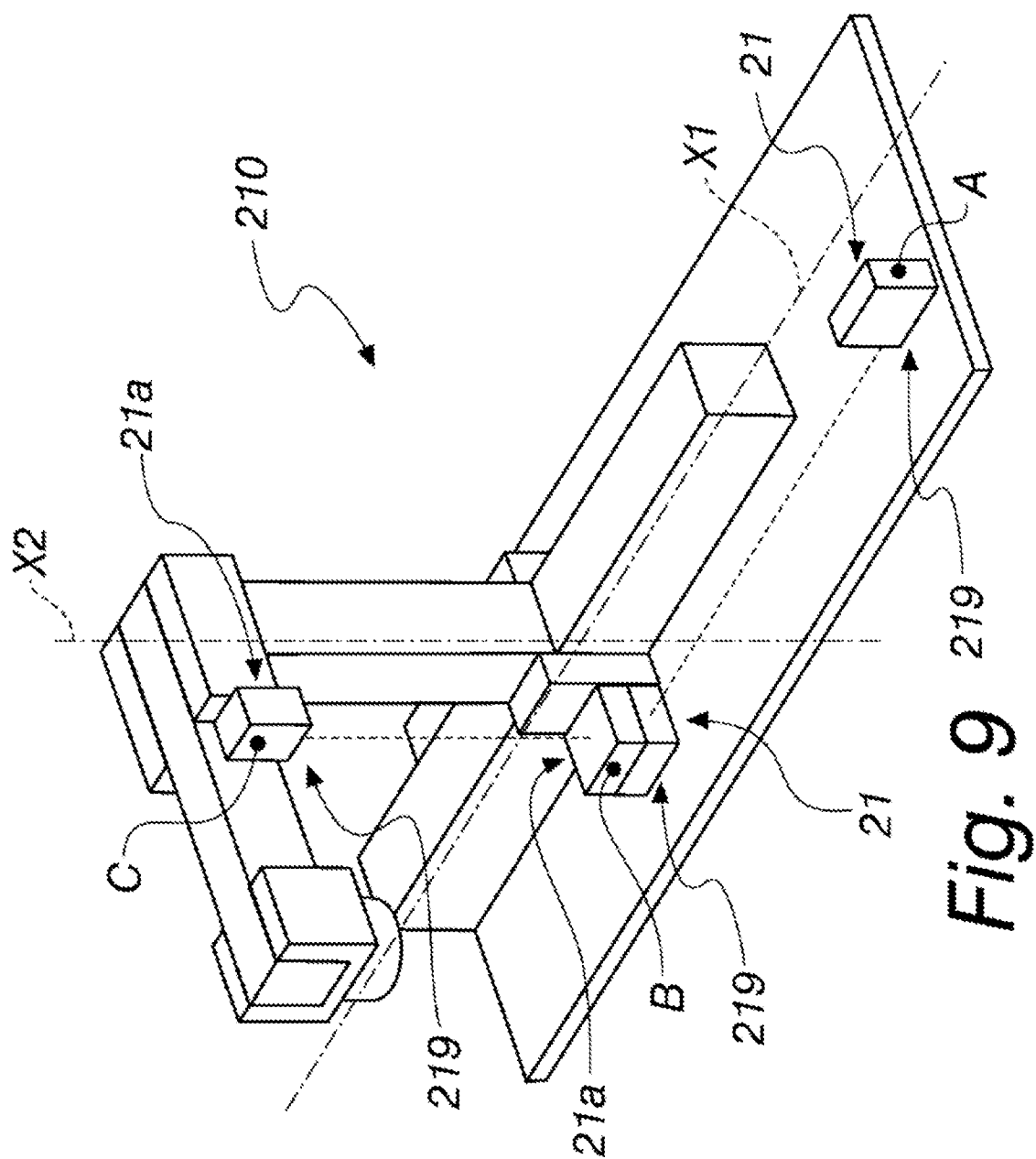
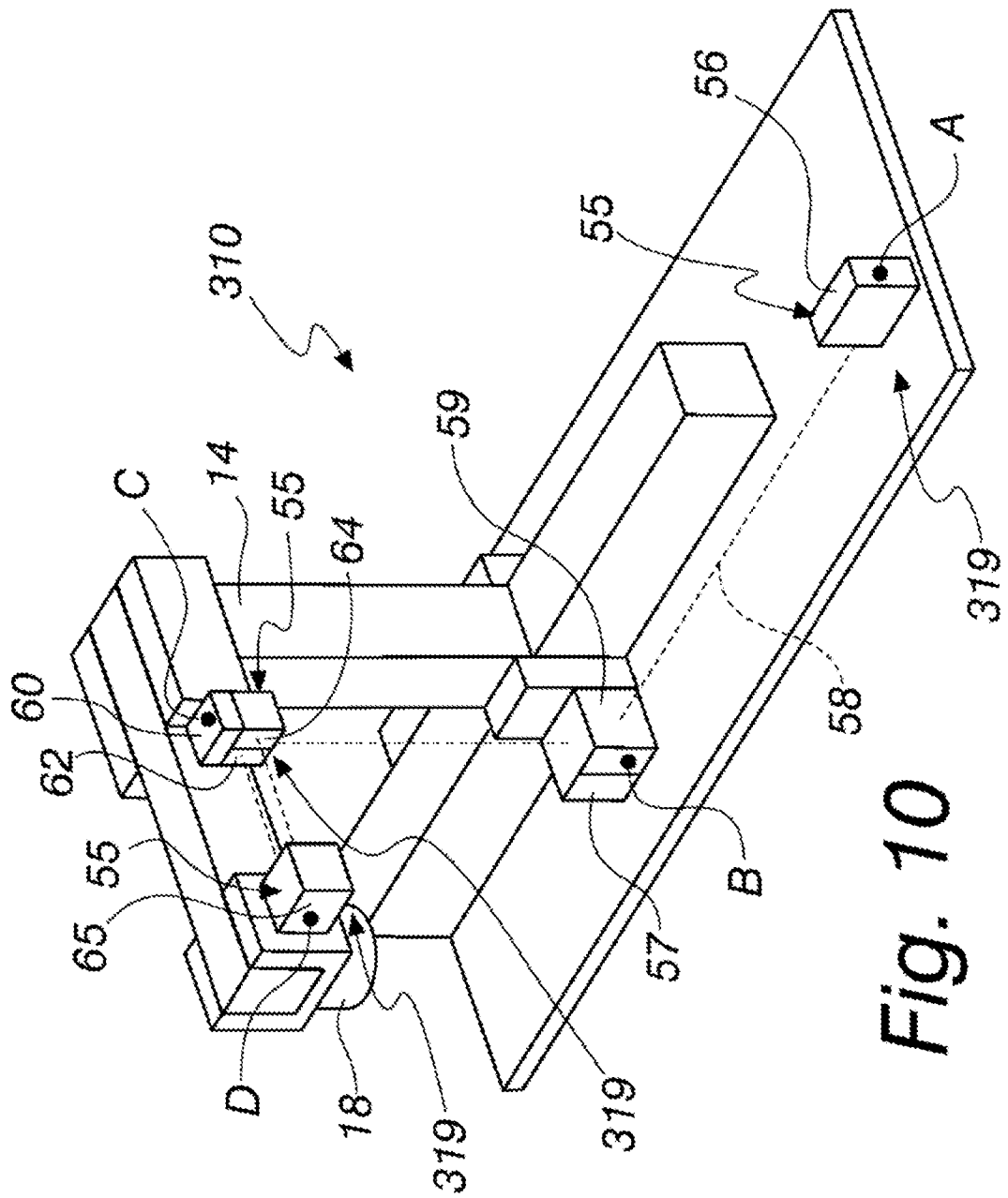
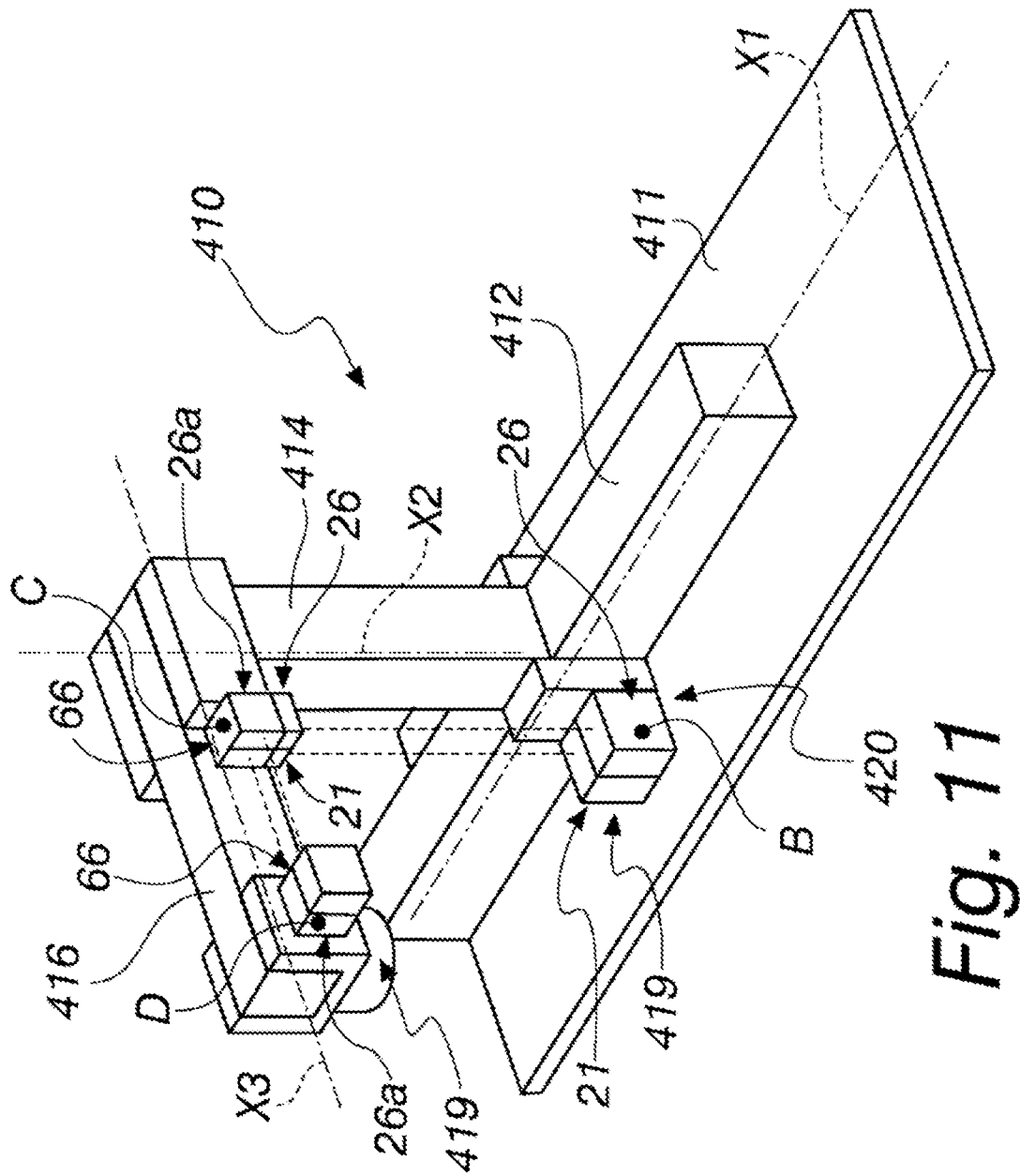
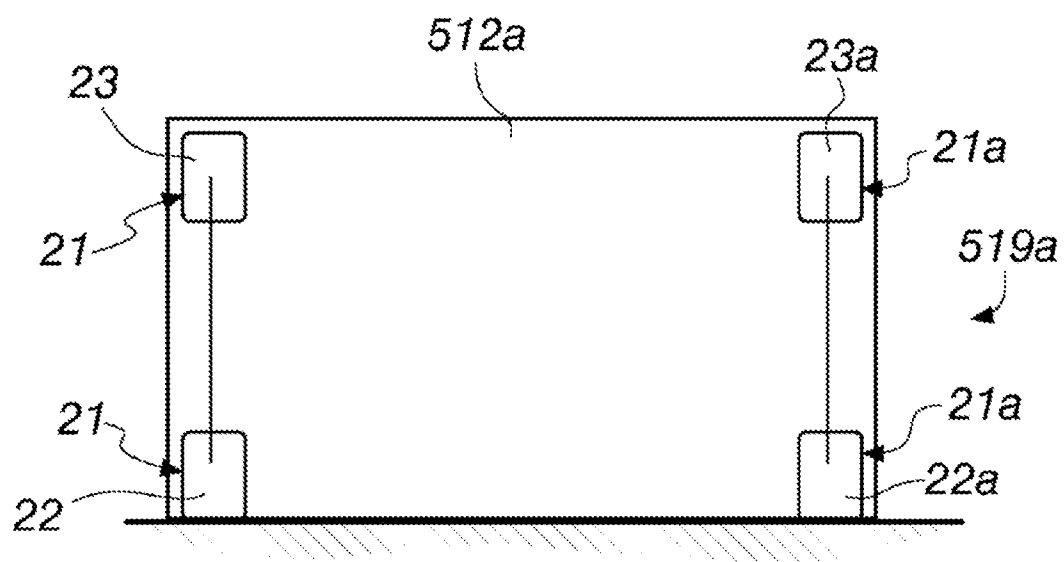
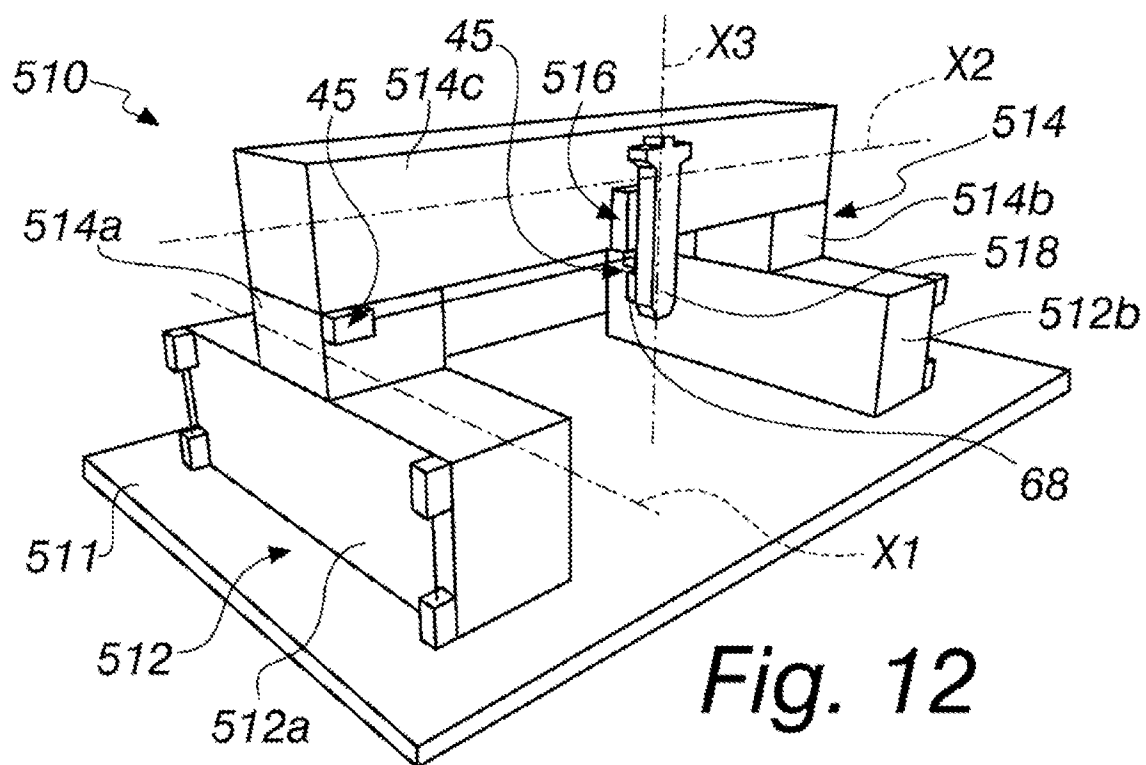


Fig. 9







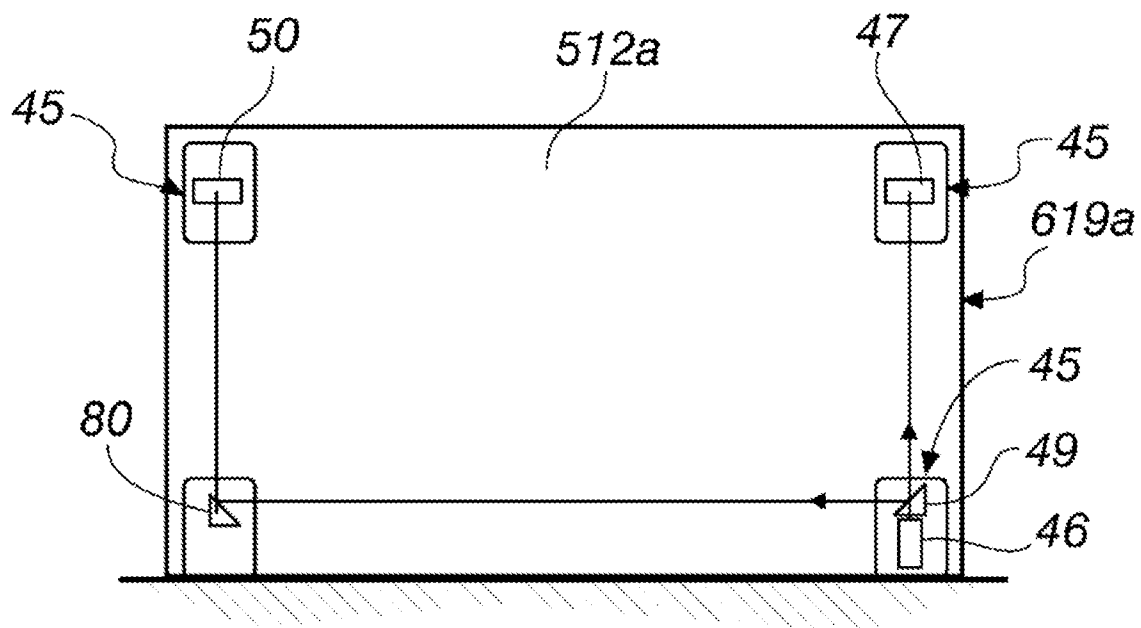


Fig. 14

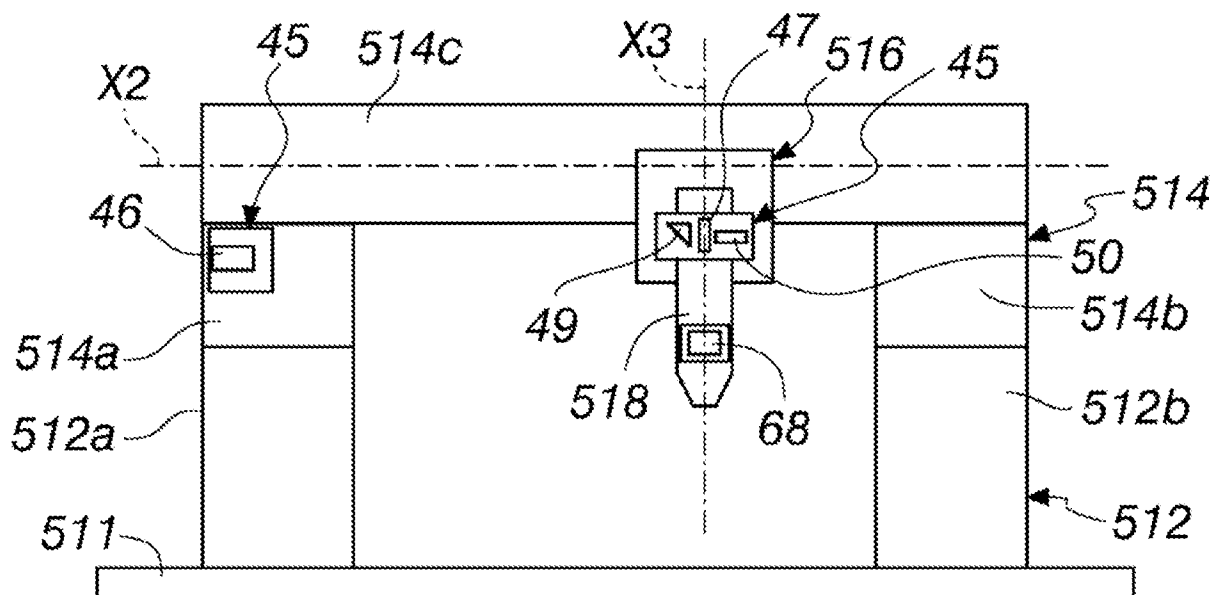


Fig. 15