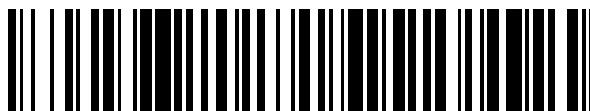


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 541 280**

51 Int. Cl.:

B24C 1/04 (2006.01)

B24C 9/00 (2006.01)

B26F 3/00 (2006.01)

G05B 19/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.07.2011** **E 11744164 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.04.2015** **EP 2613912**

54 Título: **Sistema y procedimiento de comprobación y alineación de herramienta**

30 Prioridad:

09.09.2010 US 878885

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

17.07.2015

73 Titular/es:

FLOW INTERNATIONAL CORPORATION (100.0%)
23500 - 64th Avenue South
Kent, WA 98032, US

72 Inventor/es:

KNAUPP, MICHAEL y
MEYER, ANDREAS

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 541 280 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

Sistema y procedimiento de comprobación y alineación de herramienta

5 ANTECEDENTES

Campo técnico

La presente invención se refiere a un procedimiento para mejorar una trayectoria de la punta de una herramienta de una máquina multieje mediante la comprobación y la compensación de la falta de alineación de la herramienta y, en algunas realizaciones, se refiere a un procedimiento para mejorar una trayectoria de la punta de una herramienta de una máquina de corte por chorro de agua mediante la comprobación y la compensación de la falta de alineación de la herramienta.

Descripción de la técnica relacionada

Los chorros de fluido a alta presión, incluyendo los chorros de agua abrasivos a alta presión, se usan para cortar una gran diversidad de materiales en muchas industrias diferentes. Los chorros de agua abrasivos han demostrado ser especialmente útiles en el corte de materiales difíciles, gruesos o agregados, tales como materiales gruesos de metal, vidrio o cerámica. En la actualidad, hay disponibles sistemas para generar chorros de agua abrasivos a alta presión, tales como, por ejemplo, el sistema de chorro de agua abrasivo de 5 ejes Mach 4™ fabricado por Flow International Corporation, el cesionario de la presente invención, así como otros sistemas que incluyen un conjunto cabezal de corte con chorro de agua abrasivo montado a un brazo robótico articulado. Otros ejemplos de sistemas de corte por chorro abrasivo se muestran y se describen en la patente US 5.643.058 de Flow.

Debería entenderse que las expresiones "chorro de fluido a alta presión" y "chorro" incorporan todos los tipos de chorros de fluido a alta presión incluyendo, pero sin limitarse a, chorros de agua a alta presión y chorros de agua abrasivos a alta presión. En dichos sistemas, un fluido a alta presión, típicamente agua, fluye a través de un orificio en un cabezal de corte para formar un chorro a alta presión, en el cual se combinan particular abrasivos a medida que el chorro fluye a través de un tubo de mezclado. El chorro de agua abrasivo a alta presión es descargado desde el tubo de mezclado y es dirigido hacia una pieza de trabajo para cortar la pieza de trabajo a lo largo de una trayectoria designada.

En la actualidad, hay disponibles varios sistemas para mover un chorro de fluido a alta presión a lo largo de una trayectoria designada. Dichos sistemas pueden denominarse comúnmente, por ejemplo, máquinas de tres ejes y de cinco ejes. Las máquinas de tres ejes convencionales montan el conjunto cabezal de corte de manera que pueda moverse a lo largo de un plano x-y y perpendicular a lo largo de un plano z, concretamente acercándose y alejándose de la pieza de trabajo. De esta manera, el chorro de fluido a alta presión generado por el conjunto cabezal de corte es movido a lo largo de la trayectoria designada en un plano x-y, y es subido y bajado con relación a la pieza de trabajo, según se desee. Las máquinas de 5 ejes convencionales trabajan en una manera similar pero permiten el movimiento alrededor de dos ejes de rotación no paralelos adicionales. Otros sistemas pueden incluir un conjunto cabezal de corte montado en un brazo robótico articulado, tal como, por ejemplo, un brazo robótico de 6 ejes articulado alrededor de 6 ejes de rotación separados.

Pueden usarse procedimientos de fabricación asistida por ordenador (CAM) para accionar o controlar eficientemente dichas máquinas convencionales a lo largo de una trayectoria designada, por ejemplo permitiendo el uso de modelos bidimensionales o tridimensionales de piezas de trabajo generados usando diseño asistido por ordenador (es decir, modelos CAD) para generar el código para accionar las máquinas. Por ejemplo, puede usarse un modelo CAD para generar instrucciones para accionar los controles y motores apropiados de la máquina para manipular la máquina en sus ejes de traslación y/o de rotación para cortar o procesar una pieza de trabajo, tal como se refleja en el modelo.

La manipulación de un chorro de agua en cinco o seis ejes puede ser particularmente útil por una diversidad de razones, por ejemplo, para cortar una forma tridimensional. Para facilitar un mecanizado de precisión de piezas complejas usando una máquina de 5 ejes o 6 ejes, puede ser ventajoso conocer la relación espacial precisa entre una herramienta de la máquina y una ubicación esperada de la herramienta definida por el diseño de la máquina, y realizar ajustes para la misma. La ubicación esperada de la herramienta puede depender de una serie de factores, incluyendo la configuración de la máquina. Por ejemplo, en una máquina de corte por chorro de agua de 5 ejes que tiene tres ejes de traslación y dos ejes de rotación no paralelos que convergen para formar un punto focal de la máquina, la ubicación esperada de la herramienta puede estar situada en línea con, o a una distancia de desplazamiento seleccionada desde, el punto focal de la máquina. En otras máquinas, una ubicación esperada de la herramienta puede ser posicionada con respecto a un marco de referencia de la herramienta de un componente terminal o enlace de la máquina.

En algunos casos, es beneficioso alinear una herramienta de una máquina con el punto focal de la máquina. Para configurar o comprobar si una herramienta de la máquina está alineada con el punto focal o está dentro de un rango de tolerancia aceptado generalmente, es conocida la realización de mediciones manuales y el ajuste físico de la alineación del sistema en base a dichas mediciones, por ejemplo, tal como se describe más adelante.

Una parte de un aparato y un procedimiento de comprobación y alineación manual de punto focal se ilustran en la Figura 1, que muestra una máquina de chorro de agua abrasivo de 5 ejes cargada con una sonda esférica en el extremo de trabajo de la máquina. Se usa una galga de cuadrante contigua a la sonda esférica para medir el cambio en la posición de la superficie de la sonda a medida que la máquina es instruida para moverse en diversas orientaciones, tal como, por ejemplo, conforme una muñeca de la máquina se hace girar alrededor de un eje de rotación primario. En base a las mediciones obtenidas, a continuación un técnico ajusta físicamente la ubicación de la sonda aflojando los tornillos apropiados, ajustando el conjunto que soporta la sonda y volviendo a apretar los tornillos para compensar la falta de alineación percibida. Este procedimiento se repite con la galga de cuadrante colocada en diferentes ubicaciones y orientaciones para capturar los ajustes que puedan ser necesarios debido a una falta de alineación entre la sonda y el punto focal de la máquina. Este procedimiento requiere mediciones y ajustes iterativos ya que el ajuste físico de la sonda con respecto a un eje de rotación o de traslación puede causar una falta de alineación con respecto a los otros ejes de rotación o traslación. Generalmente, el procedimiento de comprobación y alineación manual requiere un técnico especializado. El procedimiento también es propenso a errores y puede ser extremadamente laborioso y puede requerir mucho tiempo, resultando en largos períodos de inactividad de la máquina. Además, debido a que el procedimiento requiere la sustitución de una sonda con un cabezal de corte u otra herramienta, es propenso a la introducción de una falta de alineación cuando la sonda es intercambiada con el cabezal de corte u otra herramienta antes de procesar una pieza de trabajo.

Además, a partir del documento US 2004/259478 A1 se conoce un procedimiento para fresar ranuras en una pieza de trabajo, que incluye el uso de un manipulador para controlar los ángulos de incidencia de los chorros de fluido abrasivo que atraviesan la pieza de trabajo. Otro procedimiento emplea simultáneamente múltiples chorros de fluido con una pluralidad de ángulos de incidencia. Se proporciona también un aparato para permitir el uso simultáneo de múltiples chorros de fluido abrasivo con una pluralidad de ángulos de incidencia.

El documento WO-00/35639 describe un procedimiento para mejorar una trayectoria de la punta de una herramienta de una máquina multieje según el preámbulo de la reivindicación 1.

BREVE SUMARIO

La realizaciones descritas en la presente memoria proporcionan procedimientos mejorados para mejorar una trayectoria de la punta de una herramienta (es decir, la trayectoria y la orientación a lo largo de las cuales se mueve y es dirigida una punta de la herramienta durante la operación) de una máquina de corte por chorro de agua o similar mediante la comprobación y la compensación de la falta de alineación de la herramienta.

Por ejemplo, una realización de un procedimiento para mejorar una trayectoria de la punta de una herramienta de una máquina de corte por chorro de agua puede resumirse como la inclusión de una secuenciación de una herramienta de la máquina multieje a través de una primera secuencia de posiciones y orientaciones con relación a un marco de referencia base; la recepción de información indicativa de la posición y la orientación de un sensor con respecto al marco de referencia base; la secuenciación de la herramienta de la máquina multieje a través de una segunda secuencia de posiciones y orientaciones con relación a la posición y la orientación del sensor; la detección de una ubicación de la herramienta en cada posición y orientación de la segunda secuencia de posiciones y orientaciones con el sensor para obtener información indicativa de la segunda secuencia de posiciones y orientaciones; y la generación de una trayectoria mejorada de la punta de una herramienta en base, al menos en parte, a los parámetros de transformación calculados a partir de la información indicativa de la segunda secuencia de posiciones y orientaciones. La detección de una ubicación de la herramienta en cada posición y orientación de la segunda secuencia de posiciones y orientaciones con un sensor puede incluir la detección de una parte de la herramienta, tal como un tubo de mezclado, el propio chorro de agua, o un pasador u otra estructura acoplada a la herramienta. La detección de una ubicación de la herramienta en cada posición y orientación de la segunda secuencia de posiciones y orientaciones con un sensor puede incluir también la interrupción de un haz de luz de un sensor fotoeléctrico.

El procedimiento para mejorar una trayectoria de la punta de una herramienta de una máquina multieje puede ser realizado bajo el control de uno o más sistemas informáticos configurados, en el que la herramienta es un conjunto cabezal de corte y el sensor está configurado para detectar una parte del conjunto cabezal de corte conforme el conjunto cabezal de corte se mueve a través de la segunda secuencia de posiciones y orientaciones próximo al sensor; y en el que el procedimiento comprende además proporcionar instrucciones para mover un punto central

de la herramienta del conjunto cabezal de corte a lo largo de una trayectoria mejorada de la punta de una herramienta derivada, al menos en parte, a partir de la información indicativa de la segunda secuencia de posiciones y orientaciones de la parte del conjunto cabezal de corte. La recepción de información indicativa de la segunda secuencia de posiciones y orientaciones de una parte del conjunto cabezal de corte puede incluir la recepción de información indicativa de la segunda secuencia de posiciones y orientaciones de un tubo de mezclado del conjunto cabezal de corte. La provisión de instrucciones para mover el conjunto cabezal de corte a través de una primera secuencia de posiciones y orientaciones puede incluir la provisión de instrucciones para mover el conjunto cabezal de corte en una serie de movimientos con el conjunto cabezal de corte en una orientación vertical con respecto a un marco de referencia base para activar el sensor en al menos dos posiciones y la provisión de instrucciones para mover el conjunto cabezal de corte en una serie de movimientos con el conjunto cabezal de corte en una orientación horizontal con respecto al marco de referencia base para activar el sensor en al menos otras dos posiciones. La provisión de instrucciones para mover un conjunto cabezal de corte acoplado a la máquina de corte por chorro de agua a través de una segunda secuencia de posiciones y orientaciones con relación al marco de referencia del sensor puede incluir la provisión de instrucciones para mover el conjunto cabezal de corte a través de la segunda secuencia de posiciones y orientaciones perpendicularmente con respecto al marco de referencia del sensor.

El procedimiento puede incluir además calcular los parámetros de transformación en base, al menos en parte, a la información indicativa de la segunda pluralidad de posiciones y orientaciones de la parte del conjunto cabezal de corte, y en el que la trayectoria mejorada de la punta de una herramienta es derivada, al menos en parte, a partir de los parámetros de transformación. Los parámetros de transformación pueden ser indicativos de al menos una falta de alineación de un punto focal de la máquina y una línea central de la herramienta del conjunto cabezal de corte.

El procedimiento para mejorar una trayectoria de la punta de una herramienta de una máquina multieje, tal como, por ejemplo, una máquina de corte por chorro de agua de 5 ejes, puede realizarse bajo el control de uno o más sistemas informáticos configurados, en el que el procedimiento comprende además: antes de generar la trayectoria mejorada de la punta de una herramienta, calcular los parámetros de transformación en base, al menos en parte, a la información indicativa de la segunda secuencia de posiciones y orientaciones de la herramienta; y proporcionar instrucciones para mover la herramienta a lo largo de la trayectoria mejorada de la punta de una herramienta derivada, al menos en parte, a partir de los parámetros de transformación. La provisión de instrucciones para mover la herramienta a través de una primera secuencia de posiciones y orientaciones puede incluir la provisión de instrucciones para mover la herramienta en una serie de movimientos con la herramienta en una orientación vertical con respecto a un marco de referencia base para activar el sensor en al menos dos posiciones de la primera secuencia de posiciones y orientaciones y la provisión de instrucciones para mover la herramienta en una serie de movimientos con la herramienta en una orientación horizontal con respecto al marco de referencia base para activar el sensor en al menos otras dos posiciones del primer conjunto de posiciones y orientaciones. El cálculo de los parámetros de transformación en base, al menos en parte, a la información indicativa de la segunda secuencia de posiciones y orientaciones de la herramienta puede incluir el cálculo de parámetros de transformación que compensan al menos una falta de alineación entre un vector de herramienta que pasa a través del punto focal de la máquina y una línea central de herramienta de la herramienta.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La Figura 1 es una vista isométrica de una máquina de corte por chorro de agua de 5 ejes que tiene una sonda de comprobación instalada que ilustra una parte de un procedimiento de comprobación de punto focal y de alineación de herramienta manual convencional.

La Figura 2 es una vista isométrica de un sistema para mejorar una trayectoria de la punta de una herramienta de una máquina de corte por chorro de agua que incluye una máquina de corte por chorro de agua de 5 ejes y un sensor.

La Figura 3 es un diagrama de bloques que ilustra un controlador ejemplar adecuado para ejecutar un gestor de sistema de control para mejorar una trayectoria de la punta de una herramienta de una máquina de corte por chorro de agua, según una realización.

La Figura 4 es un diagrama de flujo que muestra un procedimiento para mejorar una trayectoria de la punta de una herramienta de una máquina de corte por chorro de agua, según una realización.

La Figura 5 es un diagrama esquemático que muestra trayectorias instruidas de un tubo de mezclado de la máquina de corte por chorro de agua de 5 ejes de la Figura 2 con respecto a un haz de luz del sensor de la Figura 2, según una realización de un procedimiento para mejorar una trayectoria de la punta de una herramienta de una máquina de corte por chorro de agua.

La Figura 6 es un diagrama esquemático que muestra trayectorias instruidas adicionales del tubo de mezclado con respecto al haz de luz.

La Figura 7A es un diagrama esquemático que ilustra el tubo de mezclado en una orientación vertical con

respecto a un marco de referencia del haz de luz.

La Figura 7B es un diagrama esquemático que muestra trayectorias instruidas adicionales del tubo de mezclado con respecto al haz de luz con el tubo de mezclado en la orientación ilustrada en la Figura 7A.

La Figura 8A es un diagrama esquemático que ilustra el tubo de mezclado en una orientación horizontal con respecto al marco de referencia del haz de luz.

La Figura 8B es un diagrama esquemático que muestra trayectorias instruidas adicionales del tubo de mezclado con respecto al haz de luz con el tubo de mezclado en la orientación ilustrada en la Figura 8A.

La Figura 9A es un diagrama esquemático que ilustra el tubo de mezclado en diversas orientaciones con respecto al marco de referencia del haz de luz.

La Figura 9B es un diagrama esquemático que muestra trayectorias instruidas adicionales del tubo de mezclado con respecto al haz de luz con el tubo de mezclado en las orientaciones ilustradas en la Figura 9A.

La Figura 10 es un diagrama esquemático que muestra trayectorias instruidas adicionales del tubo de mezclado con respecto al haz de luz con el tubo de mezclado en una serie de orientaciones giradas alrededor de un eje de rotación.

La Figura 11 es un diagrama esquemático que muestra trayectorias instruidas adicionales del tubo de mezclado con respecto al haz de luz con el tubo de mezclado en una serie de orientaciones giradas alrededor de un eje de rotación.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

En la descripción siguiente, se exponen ciertos detalles específicos con el fin de proporcionar una comprensión exhaustiva de las diversas realizaciones descritas.

El procedimiento descrito en la presente memoria mejora una trayectoria de la punta de una herramienta de una máquina multieje, tal como una máquina de corte por chorro de agua de 5 ejes o 6 ejes, mediante la comprobación y la compensación de la falta de alineación de la herramienta. Las realizaciones ejemplares incluyen un sistema de control para calcular los valores de desplazamiento de la herramienta y derivar parámetros de transformación en base a la información de posición y de orientación de un conjunto cabezal de corte obtenida manipulando el conjunto cabezal de corte a través del haz de un sensor fotoeléctrico. El sistema de control puede controlar además la orientación del chorro de agua con relación a una pieza de trabajo que está siendo procesada en base a una configuración cinemática derivada en parte de los valores de desplazamiento de la herramienta o parámetros de transformación. Las capacidades del sistema de control permiten a los operadores medir y compensar la falta de alineación de la herramienta sin ajuste físico de los componentes de la máquina, unos respecto a los otros. De esta manera, la capacidad de automatización del sistema de control minimiza o elimina el tiempo de inactividad que, de otro modo, sería necesario para comprobar manualmente y realizar ajustes físicos a la máquina. Además, la capacidad de compensación de la falta de alineación de la herramienta del sistema de control resulta en una mayor precisión de la máquina mediante la mejora de una trayectoria de la punta de una herramienta de la misma (es decir, la trayectoria y la orientación en las que una punta de una herramienta de la máquina se mueve y es dirigida durante la operación).

Aunque en la presente memoria se describen en términos de chorros de agua y particularmente chorros de agua abrasivos, una persona con conocimientos en la materia reconocerá que las técnicas de la presente invención pueden aplicarse a cualquier tipo de chorro de fluido, generado a alta presión o baja presión, independientemente de si se usan o no aditivos o abrasivos. Además, una persona con conocimientos en la materia reconocerá que estas técnicas pueden ser modificadas para controlar y compensar las faltas de alineación de los componentes de diversos tipos diferentes de máquinas multieje, tales como, por ejemplo fresadoras CNC multieje.

La Figura 2 muestra un sistema 10 para mejorar una trayectoria de la punta de una herramienta de una máquina 20 de corte por chorro de agua, según una realización. La máquina 20 de corte por chorro de agua incluye un conjunto 30 cabezal de corte móvil en tres ejes lineales indicados por las flechas etiquetadas con los números 14, 16, 18 y dos ejes B, C de rotación. Más particularmente, una base 24 de la máquina 20 está configurada para trasladarse lado a lado paralela a un eje-x X, hacia adelante y hacia atrás paralela a un eje-y Y, y hacia arriba y hacia abajo paralela a un eje-z Z, en el que cada eje está definido por un marco 12 de referencia base que define un sistema de coordenadas cartesiano global para la máquina 20. La base 24 está acoplada, de manera giratoria, a una estructura 26 de antebrazo que, a su vez, está acoplada de manera giratoria a una muñeca 28 para soportar el conjunto 30 cabezal de corte. La muñeca 28 y, por lo tanto, el conjunto 30 cabezal de corte gira alrededor de un primer eje B de rotación y el antebrazo 26 gira alrededor de un segundo eje C de rotación. En una configuración de sistema ideal, el primer eje B de rotación y el segundo eje C de rotación se cruzan para definir un punto FP focal.

Para asegurar un mecanizado preciso de una pieza de trabajo, es deseable determinar con precisión la relación espacial entre una herramienta y la posición esperada de la herramienta establecida por diseño (por ejemplo, la

variación de la herramienta con respecto a una posición de funcionamiento ideal). Esto puede incluir, por ejemplo, la determinación de la relación espacial entre una herramienta y otro punto de referencia o característica de la máquina. Por ejemplo, en algunos tipos de máquinas puede ser ventajoso determinar con precisión la relación especial entre un punto TCP central de la herramienta y un punto FP focal de la máquina. Para algunas máquinas de corte por chorro de agua, tales como la máquina 20 de corte por chorro de agua mostrada en la Figura 2, el punto TCP central de la herramienta puede definirse como un punto que se encuentra en una línea T central del conjunto 30 cabezal de corte en un extremo 34 del mismo o a una distancia D de separación definida (por ejemplo, 3 mm) desde el extremo del conjunto 30 cabezal de corte. Tal como se usa en la presente memoria, el punto TCP central de la herramienta se refiere a un punto en el extremo 34 de un tubo 32 de mezclado del conjunto 30 cabezal de corte. La distancia desde el punto TCP central de la herramienta al punto FP focal de la máquina en una dirección definida por la línea T central del conjunto 30 cabezal de corte define una longitud de herramienta o desplazamiento de longitud de herramienta. Aunque la posición inicial del punto TCP central de la herramienta puede ser estimada por diseño, las restricciones de fabricación y montaje hacen que el punto TCP central de la herramienta varíe de una posición ideal, lo que conduce a una falta de alineación en la relación espacial esperada entre el punto FP focal de la máquina y el punto TCP central esperado de la herramienta. La falta de alineación puede expresarse también en términos de una falta de alineación entre un vector de herramienta que pasa a través del punto FP focal de la máquina y una línea T central de la herramienta que pasa a través del punto TCP central de la herramienta. Aunque esta falta de alineación puede ser leve en algunos casos y más sustancial en otros, sin embargo es ventajoso en cualquier caso ajustar o si no compensar esta falta de alineación para mejorar la exactitud de las piezas de trabajo procesadas. Varios procedimientos descritos en la presente memoria permiten mejorar una trayectoria de la punta de una herramienta de una máquina 20 de corte por chorro de agua mediante una comprobación y compensación de la falta de alineación de la herramienta, incluyendo, por ejemplo, la falta de alineación del punto FP focal y el punto TCP central de la herramienta en máquinas de corte por chorro de agua de 5 ejes.

El sistema 10 incluye un sensor 40 que permite que el sistema 10 compruebe y compense la falta de alineación del punto FP focal y el punto TCP central de la herramienta sin contacto con la máquina 20 en un estado preparado para su uso, no modificado. El sensor 40 ejemplar mostrado en la Figura 2 es un sensor fotoeléctrico de tipo horquilla de alta precisión que tiene un haz 42 de luz que se extiende entre los brazos opuestos del mismo, tal como, por ejemplo, el interruptor de haz de luz de tipo horquilla serie GL, disponible en Pepperl+Fuchs. Aunque el sensor 40 se muestra como un sensor fotoeléctrico de tipo horquilla, se apreciará que en otras realizaciones pueden usarse otros sensores, tales como, por ejemplo, inductivos, capacitivos u otros sensores de proximidad. En algunas realizaciones, pueden usarse varios sensores de contacto, tales como, por ejemplo, un sensor o interruptor de tipo lámina. Los diversos sensores pueden ser activados (es decir, activados, disparados, enganchados, etc.) por una parte de la máquina 20 en varias posiciones y/u orientaciones para generar señales indicativas de la misma. En algunas realizaciones, puede fijarse o acoplarse un pasador u otra estructura al conjunto 30 cabezal de corte para activar el sensor 40. Por ejemplo, un pasador cilíndrico (no mostrado) puede ser insertado y retenido en el ánima de un tubo 32 de mezclado del conjunto 30 cabezal de corte de manera que el pasador pueda ser usado para activar el sensor 40 cuando se manipula el conjunto 30 cabezal de corte a través de diversas posiciones y orientaciones.

El sensor 40 de la realización ilustrada en la Figura 2 está asegurado mediante un soporte o accesorio 50 dentro del rango operable de la máquina 20 de corte por chorro de agua. La posición y la orientación exactas del haz 42 de luz no son críticas para los sistemas y los procedimientos descritos en la presente memoria ya que la posición y la orientación del haz 42 de luz pueden ser determinados con un alto grado de precisión con movimientos de la máquina 20 de corte por chorro de agua, tal como se describe más detalladamente, más adelante. Por el contrario, el sensor 40 está posicionado generalmente para detectar una parte del conjunto 30 cabezal de corte, un chorro de agua de la misma o una estructura acoplada al conjunto 30 cabezal de corte durante una secuencia de movimientos del conjunto 30 cabezal de corte y configurado para emitir información indicativa de las posiciones y/o las orientaciones del mismo. Por ejemplo, en el sistema 10 ejemplar ilustrado en la Figura 2, el sensor 40 es fijo con respecto al marco 12 de referencia base y está alineado de manera que el haz 42 de luz sea aproximadamente paralelo al eje-y Y del marco 12 de referencia base. El haz 42 de luz está configurado de manera que el haz 42 de luz pueda ser interrumpido por un tubo 32 de mezclado del conjunto 30 cabezal de corte conforme el conjunto 30 cabezal de corte es manipulado en el espacio.

La Figura 2 muestra además un controlador 56 acoplado, de manera comunicativa, a la máquina 20 de corte por chorro de agua para controlar el movimiento de un conjunto 30 cabezal de corte con respecto a tres ejes de traslación indicados por las flechas 14, 16 y 18 y los dos ejes B, C de rotación. Generalmente, el controlador 56 puede incluir, sin limitación, uno o más dispositivos de computación, tales como procesadores, microprocesadores, procesadores de señal digital (DSP), circuitos integrados específicos de aplicación (ASIC), y similares. Para almacenar información, el controlador 56 puede incluir también uno o más dispositivos de

almacenamiento, tales como memoria volátil, memoria no volátil, memoria de sólo lectura (ROM), memoria de acceso aleatorio (RAM) y similares. Los dispositivos de almacenamiento pueden ser acoplados a los dispositivos de computación por medio de uno o más buses. El controlador 56 puede incluir además uno o más dispositivos de entrada (por ejemplo, pantallas, teclados, paneles táctiles, módulos de controlador o cualquier otro dispositivo periférico de entrada de usuario) y dispositivos de salida (por ejemplo, pantallas de visualización, indicadores de luz y similares). El controlador 56 puede almacenar uno o más programas para procesar cualquier número de piezas de trabajo diferentes según las trayectorias compensadas de la punta de una herramienta. Por ejemplo, se muestra que el controlador 56 almacena un módulo 60 gestor de sistema de control que se usa para realizar comprobaciones y alineaciones de la herramienta. El controlador 56 puede controlar también el funcionamiento de otros componentes, tales como el suministro de fluido y de abrasivo a la máquina 20 de corte por chorro de agua.

La Figura 3 es un diagrama de bloques de un controlador 56, según una realización, en forma de un sistema informático de propósito general para llevar a la práctica las realizaciones del gestor 60 de sistema de control descrito en la presente memoria. En la realización ilustrada, el sistema 100 informático tiene componentes que incluyen una CPU 110, varios componentes 120 de E/S, un almacenamiento 130 y una memoria 140. Los componentes de E/S ilustrados incluyen una pantalla 122, una conexión 124 de red, una unidad 126 de medios legibles por ordenador y otros dispositivos 128 de E/S (un teclado, un ratón, altavoces, etc.). Una realización del gestor 60 de sistema de control se está ejecutando en la memoria 340, por ejemplo bajo el control de la CPU 110 configurada, e incluye una funcionalidad relacionada para mejorar una trayectoria de la punta de una herramienta de una máquina 20 de corte por chorro de agua mediante la comprobación y la compensación de la falta de alineación de la herramienta tal como se describe más detalladamente en otras partes.

Se apreciará que el sistema 100 de computación es meramente ilustrativo de una realización de un controlador 56 y no se pretende que limite el alcance de la presente invención. El sistema 100 de computación puede incluir, por el contrario, múltiples sistemas o dispositivos de computación interactivos, y el sistema 100 de computación puede estar conectado a otros dispositivos no ilustrados, incluyendo a través de una o más redes, tales como Internet. Más generalmente, un dispositivo de computación u otro sistema de computación puede comprender cualquier combinación de hardware o software que pueda interactuar y realizar los tipos de funcionalidad descritos, incluyendo sin limitación, ordenadores de sobremesa u otros ordenadores, servidores de bases de datos, dispositivos de almacenamiento en red y otros dispositivos de red. Además, en algunas realizaciones, la funcionalidad proporcionada por el gestor 60 de sistema de control puede estar distribuida en varios módulos de software. De manera similar, en algunas realizaciones, algunas de las funcionalidades del gestor 60 de sistema de control pueden no estar provistas y/u otras funcionalidades adicionales pueden estar disponibles.

También se apreciará que, aunque el gestor 60 de sistema de control se describe como almacenado en la memoria mientras está siendo usado, el gestor 60 de sistema de control y/o partes o módulos del mismo pueden ser transferidos entre la memoria y otros dispositivos de almacenamiento para propósitos de gestión de memoria e integridad de los datos. De manera alternativa, en otras realizaciones, parte o la totalidad de los módulos y/o sistemas de software pueden ejecutarse en la memoria en otro dispositivo y pueden comunicarse con el sistema 100 de computación ilustrado a través de la comunicación inter-ordenadores.

La Figura 4 es un diagrama de flujo de un procedimiento 200 ejecutado por una realización ejemplar de un gestor 60 de sistema de control para mejorar una trayectoria de la punta de una herramienta de una máquina 20 de corte por chorro de agua mediante comprobaciones y compensaciones de la falta de alineación de la herramienta.

El procedimiento comienza en 202, por ejemplo como respuesta a una indicación para llevar a cabo un procedimiento de comprobación y alineación de la herramienta.

En 204, el gestor 60 de sistema de control proporciona instrucciones para mover una herramienta acoplada a una máquina multieje a través de una primera secuencia de posiciones y orientaciones. Por ejemplo, según una realización, el conjunto 30 cabezal de corte de la máquina 20 de corte por chorro de agua es instruido para realizar un ciclo a través de al menos algunas de las diversas posiciones y orientaciones ilustradas en las Figuras 5 y 6, tal como se describe más detalladamente, más adelante.

En 206, el gestor 60 de sistema de control recibe información indicativa de la posición y la orientación del sensor 40 con respecto a un marco 12 de referencia base y posteriormente calcula un marco 48 de referencia del sensor.

En 208, el gestor 60 de sistema de control proporciona instrucciones para mover la herramienta a través de una segunda secuencia de posiciones y orientaciones con relación al marco 48 de referencia del sensor. Por ejemplo, según una realización, el conjunto 30 cabezal de corte de la máquina 20 de corte por chorro de agua es instruido para realizar un ciclo a través de al menos algunas de las diversas posiciones y orientaciones ilustradas en las

Figuras 7-10, tal como se describe más detalladamente, más adelante.

En 210, el gestor 60 de sistema de control recibe información indicativa de la segunda secuencia de posiciones y orientaciones, y en 212, calcula los valores de desplazamiento de herramienta y deriva los parámetros de transformación en base, al menos en parte, a la información indicativa de la segunda secuencia de posiciones y orientaciones de la herramienta. Estos valores de desplazamiento y/o parámetros de transformación pueden ser almacenados para su uso posterior durante el funcionamiento de la máquina para procesar una pieza de trabajo.

Por ejemplo, en 214, el gestor 60 de sistema de control puede proporcionar instrucciones para mover la herramienta a lo largo de una trayectoria mejorada de la punta de una herramienta derivada, al menos en parte, a partir de los parámetros de transformación.

El procedimiento 200 termina en 216. El procedimiento puede terminar por ejemplo, tras proporcionar las instrucciones para mover la herramienta a lo largo de la trayectoria mejorada de la punta de una herramienta. De manera alternativa, el procedimiento 200 puede repetirse volviendo a la etapa 204 antes de proporcionar instrucciones en 214. En otras realizaciones, el procedimiento 200 puede repetirse después de que una pieza de trabajo ha terminado de procesarse y mientras otra pieza de trabajo está siendo cargada o preparada para su procesamiento.

En algunas realizaciones, el procedimiento 200 puede incluir además un procedimiento de verificación en el que, después de calcular los valores de desplazamiento de herramienta y los parámetros de transformación, el gestor 60 de sistema de control aplica los valores de desplazamiento de herramienta o los parámetros de transformación para modificar la configuración cinemática de la máquina y para comprobar si el procedimiento de comprobación y alineación de herramienta ha llevado la exactitud de la máquina a un rango de tolerancia aceptable. Por ejemplo, con la configuración cinemática recién definida, el procedimiento 200 puede repetirse para obtener nuevos valores de desplazamiento de herramienta y, en última instancia, nuevos parámetros de transformación. Sin embargo, debido a que el procedimiento ya ha sido completado al menos una vez, se espera que los nuevos valores de desplazamiento no se desvíen sustancialmente y que la diferencia en los valores se aproxime a cero con cada iteración del procedimiento. Puede seleccionarse un umbral o valor de tolerancia aceptable, tal como, por ejemplo, 0,0508 mm (0,002 pulgadas), de manera que el procedimiento termine automáticamente cuando un valor de desplazamiento de herramienta recién definido sea igual o inferior a este umbral o valor de tolerancia aceptable predefinido.

A continuación, con referencia a las Figuras 5-10, se describen detalles adicionales de los procedimientos de recopilación de datos según una realización ejemplar del gestor 60 de sistema de control.

Tal como se ilustra en las Figuras 5 y 6, una parte del conjunto 30 cabezal de corte de la máquina 20 de corte por chorro de agua se usa para recopilar inicialmente datos de posición indicativos de la posición y la orientación del sensor 40 que está colocado dentro del rango operable de la máquina 20. Más particularmente, según la realización ilustrada, un tubo 32 de mezclado del conjunto 30 cabezal de corte es movido a través de una serie de movimientos para determinar una posición y una orientación de un haz 42 de luz del sensor 40 con respecto a un marco 12 de referencia base de la máquina 20. Específicamente, con referencia a la Figura 5, el tubo 32 de mezclado es orientado en primer lugar paralelo al eje-z Z del marco 12 de referencia base y el conjunto 30 cabezal de corte es llevado a una posición p_0 inicial próxima al sensor 40, por ejemplo usando una función de desplazamiento de la máquina 20. A continuación, se inicia un programa y el conjunto 30 cabezal de corte es instruido para moverse en una dirección paralela al eje-y Y del marco 12 de referencia base de manera que el tubo 32 de mezclado del conjunto 30 cabezal de corte interrumpa el haz 42 de luz con un primer lado del diámetro exterior del tubo 32 de mezclado en y_a conforme el tubo 32 de mezclado se mueve en la dirección y positiva Y^+ . De esta manera, el tubo 32 de mezclado es instruido para aproximarse al haz 42 de luz desde un lado del haz 42 para identificar una primera posición y_a de interrupción dentro de un plano paralelo al plano x-y del marco 12 de referencia base. A continuación, el conjunto 30 cabezal de corte es llevado a un lado opuesto del haz 42 de luz en p_1 , por ejemplo, y es instruido para moverse en una dirección paralela al eje-y Y del marco 12 de referencia base de manera que el tubo de mezclado interrumpa el haz 42 de luz con un segundo lado del diámetro exterior del tubo 32 de mezclado en y_b conforme el tubo 32 de mezclado se mueve en la dirección-y negativa Y^- . En otras palabras, el tubo 32 de mezclado es instruido para aproximarse al haz 42 de luz desde el otro lado del haz 42 de luz para identificar una segunda posición y_b de interrupción dentro de un plano paralelo al plano x-y del marco 12 de referencia base. El gestor 60 de sistema de control recibe datos de entrada desde el sensor 40 correspondientes a las posiciones y_a , y_b de interrupción y, a continuación, calcula la posición de un punto 44 a lo largo del haz 42 de luz dentro de un plano paralelo al plano x-y del marco 12 de referencia base. Esto puede conseguirse sumando la mitad de la diferencia entre las posiciones y_a , y_b de interrupción a la primera posición y_a de interrupción.

A continuación, el tubo 32 de mezclado es reubicado a una distancia definida en la dirección x positiva X^+ con respecto a la posición p_0 inicial a una posición en p_2 y un ciclo similar se repite para recopilar datos de entrada correspondientes a las posiciones de interrupción etiquetadas y_c , y_d . Más particularmente, desde la posición p_2 , el tubo 32 de mezclado es instruido para aproximarse al haz 42 de luz desde un lado del haz 42 para identificar una tercera posición y_c de interrupción dentro de un plano paralelo al plano x - y del marco 12 de referencia base. A continuación, el tubo 32 de mezclado es llevado a una posición p_3 en el lado opuesto del haz 42 de luz y es instruido para aproximarse al haz 42 de luz desde el lado opuesto para identificar una cuarta posición y_d de interrupción. Con estas lecturas, el gestor 60 de sistema de control calcula la posición del otro punto 45 a lo largo del haz 42 de luz dentro de un plano paralelo al plano x - y del marco 12 de referencia base. Esto puede conseguirse sumando la mitad de la diferencia entre las posiciones y_c , y_d de interrupción a la primera posición y_c de interrupción. A continuación, con la información relativa a la ubicación de los puntos 44 y 45, puede determinarse la pendiente o inclinación del haz 42 de luz con respecto al plano x - y de referencia. La pendiente del haz 42 de luz con respecto al plano x - y de referencia es retenida o almacenada para su uso en la definición de un marco 48 de referencia del sensor (Figuras 7A-11), tal como se describe adicionalmente más adelante.

A continuación, con referencia a la Figura 6, el tubo 32 de mezclado es orientado paralelo al eje- y Y del marco 12 de referencia base mediante rotación alrededor del primer eje B de rotación y el conjunto 30 cabezal de corte es llevado a una posición z_0 inicial próxima al sensor 40. De manera similar a las etapas anteriores, el conjunto 30 cabezal de corte realiza un ciclo a través de una serie de movimientos instruidos para obtener datos correspondientes a la posición donde el tubo 32 de mezclado interrumpe el haz 42 de luz en las posiciones z_a y z_b de interrupción para determinar otro punto 46 a lo largo del haz 42 de luz y en las posiciones z_c y z_d de interrupción para determinar otro punto 47 adicional a lo largo del haz 42 de luz. Más particularmente, a partir de la posición z_0 inicial el tubo 32 de mezclado es instruido para interrumpir el haz 42 de luz desde cada uno de los lados opuestos del mismo con respecto al eje- z Z para identificar las posiciones z_a y z_b de interrupción y, en última instancia, el punto 46. A continuación, el tubo 32 de mezclado es reubicado a una distancia seleccionada en la dirección x positiva X^+ (que puede variar en base a una longitud del haz 42 de luz) con respecto a la posición z_0 inicial y es instruido para interrumpir el haz 42 de luz desde cada uno de sus lados opuestos con respecto al eje- z Z para identificar las posiciones z_c y z_d de interrupción y, en última instancia, el punto 47. Con la información relativa a la ubicación de los puntos 46 y 47, puede determinarse la pendiente o inclinación del haz 42 de luz con respecto al plano de referencia x - z . A continuación, en conjunción con la información recopilada anteriormente, se calcula un vector de orientación del haz 42 de luz y puede establecerse una orientación del haz o marco 48 de referencia de haz (Figuras 7A-11) de manera que todas las mediciones posteriores puedan obtenerse con movimientos instruidos perpendiculares al marco 48 de referencia del haz de luz y, por lo tanto, al haz 42 de luz. Además, al establecer el marco 48 de referencia del haz, el gestor 60 de sistema de control es capaz de relacionar todas las mediciones futuras tomadas con relación al marco 48 de referencia del haz al marco 12 de referencia base, y viceversa, mediante las transformaciones apropiadas.

Después de obtener una orientación inicial del haz y establecer un marco 48 de referencia del haz, puede realizarse una etapa opcional de verificación de orientación del haz para determinar si el marco 48 de referencia del haz se conoce dentro de un nivel de tolerancia aceptable. Más particularmente, el tubo 32 de mezclado puede realizar un ciclo a través de movimientos similares a los descritos anteriormente con referencia a las Figuras 5 y 6 pero ajustados de manera que todos los movimientos sean perpendiculares a la orientación calculada del haz. Idealmente, el movimiento del tubo 32 de mezclado perpendicular a la orientación calculada del haz para detectar la inclinación del haz 42 de luz debería resultar en una pendiente nula, verificando de esta manera la precisión de la inclinación calculada del haz. Sin embargo, si los resultados del procedimiento de verificación indican un haz 42 de luz ligeramente inclinado con respecto al marco 48 de referencia del haz, el marco 48 de referencia del haz puede ser ajustado en consecuencia de manera que todos los movimientos posteriores sean perpendiculares a una orientación de haz refinada adicionalmente. De esta manera, los resultados de la etapa de verificación pueden confirmar que la orientación del haz 42 de luz es conocida dentro de un rango de tolerancia aceptado o pueden ser usados para refinar adicionalmente la orientación del haz de una manera iterativa. Por ejemplo, en algunas realizaciones, el procedimiento de verificación de orientación del haz puede continuar de manera iterativa hasta que la orientación del haz esté dentro de un rango de tolerancia aceptada, tal como, por ejemplo, 0,02 grados en cada una de las direcciones medidas. En otras realizaciones, el procedimiento de verificación de haz puede ser omitido.

A continuación, el gestor 60 de sistema de control realiza una serie de procedimientos de medición para obtener información indicativa de una falta de alineación de la herramienta y, más particularmente, una falta de alineación entre el punto FP focal de la máquina y el punto TCP central de la herramienta. Según algunas realizaciones, el gestor 60 de sistema de control lleva a cabo al menos tres procedimientos de medición distintos para determinar una falta de alineación con respecto a la longitud de herramienta, un movimiento de lado a lado de la herramienta y la circularidad de la herramienta, tal como se describe más detalladamente, más adelante.

Por ejemplo, en la ejecución de un procedimiento de medición de falta de alineación de longitud de la herramienta, el gestor 60 de sistema de control mueve el conjunto 30 cabezal de corte a través de una serie de movimientos para interrumpir el haz 42 de luz del sensor 40 y obtener información indicativa de una longitud de herramienta o desplazamiento TL de longitud de herramienta (es decir, la distancia paralela a la línea T central de la herramienta desde el punto FP focal al punto TCP central de la herramienta). En las mediciones siguientes, la orientación del tubo de mezclado es ajustada perpendicular al haz 42 de luz y los movimientos del conjunto 30 cabezal de corte se hacen perpendiculares al haz 42 de luz. En otras palabras, el conjunto 30 cabezal de corte y, por lo tanto, el tubo 32 de mezclado es movido perpendicularmente con respecto al marco 48 de referencia del haz.

En particular, con referencia a la Figura 7A, el tubo 32 de mezclado es orientado para extenderse paralelo al eje-z ZT del marco 48 de referencia del haz indicado por el vector $(0, 0, 1)$ y es instruido para realizar un ciclo a través de una serie de movimientos para recopilar información de posición de la herramienta correspondiente a los puntos de interrupción etiquetados Y_1 , Y_2 , T_1 , T_2 y T_z . Más particularmente, con referencia a la Figura 7B, se recopilan datos de posición correspondientes a los puntos Y_1 e Y_2 de interrupción interrumpiendo el haz 42 de luz con los lados opuestos del diámetro exterior del tubo 32 de mezclado en las posiciones y_1 e y_2 de interrupción conforme el tubo 32 de mezclado se mueve en las direcciones YT positiva e YT negativa, respectivamente. A continuación, el diámetro percibido del tubo de mezclado puede determinarse encontrando la diferencia entre la posición de realimentación del punto FP focal de la máquina en cada una de las posiciones y_1 e y_2 de interrupción. Se usa la expresión "diámetro percibido del tubo de mezclado" debido a que es diferente del diámetro real del tubo de mezclado debido al espesor del haz 42 de luz. Por consiguiente, para determinar un espesor del haz 42 de luz, el diámetro percibido del tubo de mezclado puede ser restado del diámetro real del tubo de mezclado. El diámetro real del tubo de mezclado puede ser almacenado en la máquina en base a mediciones anteriores o puede ser obtenido con calibres o similares y puede ser introducido al sistema 10. La posición-y del punto FP focal de la máquina correspondiente a la línea T central de la herramienta alineada con el haz 42 de luz puede ser determinada y almacenada calculando la diferencia entre la posición de realimentación del punto FP focal de la máquina en cada una de las posiciones y_1 e y_2 de interrupción y sumando la mitad de este valor de nuevo a la posición de realimentación correspondiente a la posición y_1 de interrupción.

A continuación, la línea T central de la herramienta del tubo 32 de mezclado es alineada con el haz 42 de luz (en base a la posición-y recién calculada anteriormente) y el tubo 32 de mezclado es movido hacia abajo a la posición t_z de interrupción para interrumpir el haz 42 de luz con una punta 34 del tubo 32 de mezclado en el punto T_z . La posición-z correspondiente al extremo de la punta 34 puede ser determinada y almacenada restando la mitad del diámetro del haz de luz de la posición de realimentación correspondiente a la posición t_z de interrupción. A continuación, se mide un diámetro de la punta del tubo 32 de mezclado en los puntos T_1 y T_2 moviendo hacia abajo, una distancia definida, con respecto al eje-z ZT del marco 48 de referencia del haz e interrumpiendo el haz 42 de luz desde los lados opuestos del tubo 32 de mezclado conforme el tubo 32 de mezclado se mueve en las direcciones YT positiva e YT negativa a las posiciones t_1 y t_2 , respectivamente. A continuación, la posición-y del punto FP focal de la máquina correspondiente a la línea T central de la herramienta cerca de la punta 34 alineada con el haz 42 de luz puede ser determinada y almacenada calculando la diferencia entre la posición de realimentación del punto FP focal de la máquina en cada una de las posiciones t_1 y t_2 de interrupción y sumando la mitad de este valor de nuevo a la posición de realimentación correspondiente a la posición t_1 de interrupción.

A continuación, tal como se ilustra en las Figuras 8A y 8B, la orientación del tubo de mezclado es cambiada a una posición horizontal haciendo girar el primer eje B de rotación de manera que la línea T central de la herramienta del tubo 32 de mezclado se encuentre en un plano paralelo al plano XT-YT y apunte en un ángulo de 45 grados indicado por el vector $(1, 1, 0)$ para recopilar información posicional correspondiente a los puntos etiquetados Z_1 , Z_2 y T_y . Más particularmente, con referencia a la Figura 8B, se recopilan datos posicionales en los puntos Z_1 y Z_2 interrumpiendo el haz 42 de luz con los lados opuestos del diámetro exterior del tubo 32 de mezclado en las posiciones z_1 y z_2 de interrupción conforme el tubo 32 de mezclado se mueve en las direcciones ZT negativa y ZT positiva, respectivamente. La posición-z del punto FP focal de la máquina correspondiente a la línea T central de la herramienta del tubo 32 de mezclado alineada con el haz 42 de luz puede ser determinada y almacenada a continuación calculando la diferencia entre la posición de realimentación del punto FP focal de la máquina en cada una de las posiciones z_1 y z_2 de interrupción y sumando la mitad de este valor de nuevo a la posición de realimentación correspondiente a la posición z_1 de interrupción. El diámetro percibido del tubo de mezclado puede ser calculado y restado también del diámetro real del tubo de mezclado para derivar el diámetro del haz 42 de luz con respecto a la presente orientación del tubo 32 de mezclado.

A continuación, la línea T central de la herramienta del tubo 32 de mezclado es alineada con el haz 42 de luz (en base a la posición z recién calculada anteriormente) con el tubo de mezclado horizontal y el tubo 32 de mezclado es movido hacia adelante a la posición t_y de interrupción para interrumpir el haz 42 de luz con la punta 34 del tubo

32 de mezclado en el punto T_y . Después de obtener información relativa a las posiciones y orientaciones descritas anteriormente, se calcula una longitud de la herramienta o un desplazamiento TL de longitud de la herramienta. Más específicamente, se obtiene el cambio en la posición-y del punto FP focal de la máquina entre las orientaciones descritas anteriormente (es decir, vertical y horizontal) y se usa para derivar la longitud de la herramienta usando funciones trigonométricas apropiadas con ajustes realizados para el ancho del haz de luz. Tal como se ha descrito anteriormente, la longitud de herramienta o el desplazamiento TL de longitud de herramienta corresponde a la distancia paralela a la línea T central de la herramienta desde el punto FP focal de la máquina hasta el punto TCP central de la herramienta. La longitud de herramienta o el desplazamiento TL de la longitud de la herramienta puede ser visualizada y/o almacenada para su uso posterior.

Al ejecutar un procedimiento de medición de falta de alineación de lado a lado, el gestor 60 de sistema de control mueve el conjunto 30 cabezal de corte a través de una serie de movimientos instruidos para obtener información de posición de lado a lado correspondiente al tubo 32 de mezclado en diversas orientaciones. Más particularmente, con referencia a las Figuras 9A y 9B, el tubo 32 de mezclado es orientado para extenderse paralelo al eje-z ZT del marco 48 de referencia del haz indicado mediante el vector $(0, 0, 1)$ en una primera etapa de recopilación de datos, para extenderse hacia abajo en un ángulo de 45 grados con respecto al plano ZT-XT indicado mediante el vector $(1, 0, 1)$ en una segunda etapa de recopilación, y para extenderse hacia abajo en un ángulo de 45 grados con respecto al plano ZT-XT indicado mediante el vector $(-1, 0, 1)$ en una tercera etapa de recopilación de datos. Para recopilar información posicional del punto FP focal de la máquina correspondiente a los puntos etiquetados S_1 , S_2 y S_3 , el tubo 32 de mezclado es movido en la dirección YT positiva para interrumpir el haz 42 de luz en las posiciones s_1 , s_2 y s_3 de interrupción, respectivamente, en la misma posición a lo largo de la longitud del tubo 32 de mezclado. Por consiguiente, es deseable determinar la longitud de la herramienta o el desplazamiento TL de la longitud de la herramienta antes de ejecutar el procedimiento de medición de falta de alineación de lado a otro. Después de recopilar los datos posicionales del punto FP focal de la máquina correspondientes a las posiciones de interrupción en los puntos s_1 , s_2 y s_3 , los datos son usados para calcular un valor de desplazamiento de lado a lado entre el punto FP focal de la máquina y la línea T central de la herramienta en una dirección perpendicular a la línea T central de la herramienta. El desplazamiento de lado a lado puede ser determinado calculando la diferencia entre la posición de realimentación del punto FP focal de la máquina en cada una de las posiciones s_2 y s_3 de interrupción y sumando la mitad de este valor a la posición de realimentación correspondiente a la posición s_2 de interrupción. El valor de desplazamiento de lado a lado puede ser visualizado y/o almacenado para su uso posterior.

Al ejecutar un procedimiento de medición de falta de alineación de circularidad, el gestor 60 de sistema de control mueve el conjunto 30 cabezal de corte a través de una serie de movimientos instruidos para obtener información de falta de alineación de circularidad del tubo 32 de mezclado. Más particularmente, con referencia a la Figura 10, el haz 42 de luz es interrumpido en las posiciones c_1 , c_2 y c_3 moviendo el tubo 32 de mezclado en la dirección YT positiva para cada una de las tres orientaciones C_1 , C_2 y C_3 del tubo de mezclado en las que el tubo 32 de mezclado es orientado verticalmente y es girado alrededor del segundo eje C de rotación en diversos grados. Por ejemplo, la orientación C_1 corresponde a una rotación inicial de 45 grados con respecto a la posición inicial del segundo eje C de rotación, la orientación C_2 corresponde a una rotación de 180 grados del segundo eje C de rotación con respecto a la orientación C_1 , y la orientación C_3 corresponde a una rotación de 90 grados del segundo eje C de rotación con respecto a la orientación C_1 . Después de recopilar los datos posicionales del punto FP focal de la máquina correspondientes a las posiciones de interrupción en las posiciones c_1 , c_2 y c_3 , los datos son usados para calcular los valores de desplazamiento de circularidad correspondientes a los desplazamientos de la posición-x y la posición-y entre el segundo eje C de rotación y la línea T central de la herramienta cuando el tubo 32 de mezclado está orientado verticalmente. Por ejemplo, el valor de desplazamiento de la posición-y puede ser determinado calculando la diferencia entre la posición de realimentación del punto FP focal de la máquina en cada una de las posiciones c_1 y c_2 de interrupción y sumando la mitad de este valor de nuevo a la posición de realimentación correspondiente a la posición c_1 de interrupción. A continuación, puede aplicarse el valor de desplazamiento en la posición-y para compensar la circularidad en la dirección-y y/o puede ser visualizado o almacenado para su uso posterior. El valor de desplazamiento en la posición-x puede ser determinado calculando la distancia desde la posición de realimentación correspondiente a la posición c_3 a una posición c_1 o c_2 compensada y la posición de realimentación correspondiente a la posición c_2 . De manera similar, el valor de desplazamiento en la posición-x puede ser visualizado y/o almacenado para su uso posterior.

Con la información posicional recopilada reflejada en los valores de desplazamiento de herramienta descritos anteriormente, los parámetros de transformación (por ejemplo, los parámetros de Denavit-Hartenberg) pueden ser calculados mediante ecuaciones cinemáticas inversas. A continuación, estos parámetros de transformación pueden ser aplicados, a su vez, para definir con más precisión la configuración cinemática de la máquina 20. Más particularmente, usando la información posicional recopilada descrita anteriormente, el gestor 60 de sistema de control puede calcular un modelo cinemático más preciso relacionando las posiciones y las orientaciones

detectadas del punto TCP central de la herramienta con respecto al punto FP focal de la máquina (reflejado en los valores de desplazamiento de la herramienta) de nuevo al sistema de coordenadas cartesiano definido por el marco 12 de referencia base a través del marco 48 de referencia del sensor intermedio. En particular, las ecuaciones cinemáticas inversas pueden ser aplicadas para derivar o calcular los parámetros de transformación (por ejemplo, los parámetros de Denavit-Hartenberg) que definen la configuración cinemática que resultaría en la producción por parte del tubo 32 de mezclado de las lecturas detectadas en las etapas de recopilación de datos. Las diferencias entre estos parámetros de transformación recién derivados con los que definen la configuración cinemática inicial (dictados por diseño) pueden denominarse valores de desplazamiento de transformación. Los parámetros de transformación y/o los valores de desplazamiento de transformación pueden ser visualizados o almacenados para su uso posterior.

Los valores de desplazamiento de herramienta y los parámetros de transformación derivados son indicativos de y compensan un error entre los datos posicionales del punto TCP central de la herramienta con relación al punto FP focal de la máquina (o una línea T central de la herramienta que pasa por el punto TCP central de la herramienta y un vector de herramienta que pasa por el punto FP focal de la máquina). Los parámetros de transformación recién derivados describen la configuración cinemática de la máquina 20 y permiten mejorar la precisión de una trayectoria de la punta de una herramienta deseada independientemente de la falta de alineación de la herramienta con respecto a una configuración ideal de la máquina. De esta manera, la comprobación manual y los ajustes físicos para alinear la línea T central de la herramienta o el punto TCP central de la herramienta con un punto FP focal de la máquina, por ejemplo, son innecesarios. Más bien, un usuario puede simplemente mover el conjunto 30 cabezal de corte cerca del sensor 40 y activar el gestor 60 de sistema de control y la máquina 20 comprobará y compensará los errores en la falta de alineación del punto TCP central de la herramienta y el punto FP focal de la máquina 20 con poca o ninguna intervención manual adicional por parte del usuario.

En algunas realizaciones, después de obtener un conjunto inicial de parámetros de transformación, puede realizarse un procedimiento de verificación opcional. Por ejemplo, las mediciones descritas anteriormente con referencia a las Figuras 5-10 pueden repetirse una o más veces con un conjunto de parámetros de transformación activados, derivado previamente, para verificar que cualquier dato posicional recién obtenido basado en una configuración cinemática definida por los parámetros de transformación cae dentro de un nivel de tolerancia aceptable. Si los parámetros de transformación recién obtenidos no están dentro de una tolerancia aceptable, entonces el procedimiento de verificación puede ser repetido con los parámetros de transformación recién obtenidos activados para refinar iterativamente la configuración cinemática de la máquina 20. El procedimiento de verificación puede continuar en dicha manera iterativa hasta que los parámetros de transformación definan la configuración cinemática dentro de un rango de tolerancia aceptable.

Puede realizarse una comprobación adicional antes de procesar una pieza de trabajo para verificar que el ajuste o la compensación actual del punto TCP central de la herramienta está dentro de la tolerancia. Por ejemplo, el tubo 32 de mezclado puede ser orientado verticalmente y puede ser instruido a través de una serie de movimientos para medir la alineación de circularidad del tubo 32 de mezclado según la configuración cinemática recién definida. Más particularmente, con referencia a la Figura 11, el haz 42 de luz puede ser interrumpido en las posiciones C_0 , C_{180} , C_{90} y C_{270} haciendo girar el tubo 32 de mezclado a través de cada una de las cuatro orientaciones C_0 , C_{180} , C_{90} y C_{270} de tubo de mezclado en las que el tubo 32 de mezclado es girado alrededor del segundo eje C de rotación en un grado diferente antes de interrumpir el haz 42 de luz. La orientación C_0 corresponde a una rotación inicial de 0 grados o posición inicial del segundo eje C de rotación, la orientación C_{180} corresponde a una rotación de 180 grados del segundo eje C de rotación, la orientación C_{90} corresponde a una rotación de 90 grados del segundo eje C de rotación y la orientación C_{270} corresponde a una rotación de 270 grados del segundo eje C de rotación. Si las mediciones obtenidas en cada orientación están dentro de un rango de tolerancia aceptable de por ejemplo $\pm 0,127$ mm (por ejemplo, $\pm 0,005$ pulgadas), entonces el procedimiento de comprobación puede terminar y el procesamiento de la pieza de trabajo puede comenzar.

Como otro ejemplo de comprobación adicional, las mediciones de alineación de lado a lado pueden ser tomadas tal como se ilustra en las Figuras 7A y 7B y pueden ser evaluadas contra un rango de tolerancia definido para comprobar la exactitud de la configuración cinemática recién definida. Una vez más, si las mediciones obtenidas en cada orientación están dentro de un rango de tolerancia aceptable por ejemplo, $\pm 0,127$ mm (por ejemplo, $\pm 0,005$ pulgadas), entonces el procedimiento de comprobación puede terminar y el procesamiento de la pieza de trabajo puede comenzar.

Según diversas realizaciones, una vez obtenido un nivel aceptable de precisión aceptable, el gestor 60 de sistema de control comienza un modo de procesamiento de pieza de trabajo en el que el gestor 60 de sistema de control mueve el conjunto 30 cabezal de corte a lo largo de una trayectoria de la punta de una herramienta derivada a partir de un perfil o estructura de pieza de trabajo acabada deseada y modificada usando los sistemas y

- 5 procedimientos de comprobación y alineación de herramienta descritos en la presente memoria. En particular, la configuración cinemática de la máquina 20 puede ser refinada por los parámetros de transformación recién derivados y combinada con las técnicas de fabricación asistida por ordenador (CAM) que implican la importación de la geometría del modelo CAD para generar la trayectoria mejorada de la punta de una herramienta. De esta manera, el gestor 60 de sistema de control permite el procesamiento de piezas de trabajo de una manera particularmente precisa y eficiente.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para mejorar una trayectoria de la punta de una herramienta de una máquina (20) multieje, en el que el procedimiento comprende:

la secuenciación de una herramienta de la máquina (20) multieje a través de una primera secuencia de posiciones y orientaciones con relación a un marco (12) de referencia base;
la recepción de información indicativa de la posición y la orientación de un sensor (40) con respecto al marco (12) de referencia base;

caracterizado por la secuenciación de la herramienta de la máquina (20) multieje a través de una segunda secuencia de posiciones y orientaciones con relación a la posición y orientación del sensor (40);
la detección de una ubicación de la herramienta en cada posición y orientación de la segunda secuencia de posiciones y orientaciones con el sensor (40) para obtener información indicativa de la segunda secuencia de posiciones y orientaciones; y

la generación de una trayectoria mejorada de la punta de una herramienta basada, al menos en parte, en los parámetros de transformación calculados a partir de la información indicativa de la segunda secuencia de posiciones y orientaciones.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la detección de la ubicación de la herramienta en cada posición y orientación de la segunda secuencia de posiciones y orientaciones con el sensor (40) incluye la detección de una parte del conjunto (30) cabezal de corte.

3. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la detección de la ubicación de la herramienta en cada posición y orientación de la segunda secuencia de posiciones y orientaciones con el sensor (40) incluye la detección de un tubo (32) de mezclado de un conjunto (30) cabezal de corte.

4. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la detección de la ubicación de la herramienta en cada posición y orientación de la segunda secuencia de posiciones y orientaciones con el sensor (40) incluye la detección de un chorro de agua de un conjunto (30) cabezal de corte.

5. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la detección de la ubicación de la herramienta en cada posición y orientación de la segunda secuencia de posiciones y orientaciones con el sensor (40) incluye la detección de un pasador recibido en un ánima de un tubo (32) de mezclado del conjunto (30) cabezal de corte.

6. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la detección de la ubicación de la herramienta en cada posición y orientación de la segunda secuencia de posiciones y orientaciones con el sensor (40) incluye la interrupción de un haz (42) de luz de un sensor (40) fotoeléctrico.

7. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la máquina multieje es una máquina (20) de corte por chorro de agua y la herramienta es un conjunto (30) cabezal de corte.

8. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que el procedimiento es realizado bajo el control de uno o más sistemas (100) de computación configurados,
en el que la herramienta es un conjunto (30) cabezal de corte y el sensor (40) está configurado para detectar una parte del conjunto (30) cabezal de corte conforme el conjunto (30) cabezal de corte se mueve a través de la secuencia de posiciones y orientaciones próximas al sensor (40), y
en el que el procedimiento comprende además proporcionar instrucciones para mover un punto central de la herramienta del conjunto (30) cabezal de corte a lo largo de una trayectoria mejorada de la punta de una herramienta derivada, al menos en parte, a partir de la información indicativa de la segunda secuencia de posiciones y orientaciones de la parte del conjunto (30) cabezal de corte.

9. Procedimiento según la reivindicación 8, que comprende además:

antes de generar la trayectoria mejorada de la punta de una herramienta, calcular los parámetros de transformación en base, al menos en parte, a la información indicativa de la segunda secuencia de posiciones y orientaciones de la parte del conjunto (30) cabezal de corte.

10. Procedimiento según la reivindicación 9, en el que los parámetros de transformación son indicativos de al menos una falta de alineación de un punto focal de la máquina y una línea central de la herramienta del conjunto (30) cabezal de corte.

11. Procedimiento según la reivindicación 8, en el que la parte del conjunto (30) cabezal de corte detectada por el sensor (40) es un tubo (32) de mezclado del conjunto (30) cabezal de corte.

12. Procedimiento según la reivindicación 8, en el que el sensor (40) es un sensor fotoeléctrico.

13. Procedimiento según la reivindicación 8, en el que la secuenciación del conjunto (30) cabezal de corte a través de la segunda secuencia de posiciones y orientaciones con relación a la posición y orientación del sensor (40) incluye proporcionar instrucciones para mover el conjunto (30) cabezal de corte a través de la segunda secuencia de posiciones y orientaciones perpendicularmente con respecto a un marco de referencia del sensor (40).

14. Procedimiento según la reivindicación 8, en el que la secuenciación del conjunto (30) cabezal de corte a través de la primera secuencia de posiciones y orientaciones incluye proporcionar instrucciones para mover el conjunto (30) cabezal de corte en una serie de movimientos con el conjunto (30) cabezal de corte en una orientación vertical con respecto al marco (12) de referencia base para activar el sensor (40) en al menos dos posiciones y proporcionar instrucciones para mover el conjunto (30) cabezal de corte en una serie de movimientos con el conjunto (30) cabezal de corte en una orientación horizontal con respecto al marco (12) de referencia base para activar el sensor (40) en al menos otras dos posiciones.

15. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que el procedimiento es realizado bajo el control de uno o más sistemas (100) de computación configurados y comprende además:

antes de generar la trayectoria mejorada de la punta de una herramienta, calcular los parámetros de transformación en base, al menos en parte, a la información indicativa de la segunda secuencia de posiciones y orientaciones de la herramienta; y

proporcionar instrucciones para mover la herramienta a lo largo la trayectoria mejorada de la punta de una herramienta derivada, al menos en parte, a partir de los parámetros de transformación.

16. Procedimiento según la reivindicación 15, en el que la secuenciación de la herramienta a través de la primera secuencia de posiciones y orientaciones incluye la provisión de instrucciones para mover la herramienta en una serie de movimientos con la herramienta en una orientación vertical con respecto al marco (12) de referencia base para activar el sensor (40) en al menos dos posiciones de la primera secuencia de posiciones y orientaciones y la provisión de instrucciones para mover la herramienta en una serie de movimientos con la herramienta en una orientación horizontal con respecto al marco (12) de referencia base para activar el sensor (40) en al menos otras dos posiciones de la primera secuencia de posiciones y orientaciones.

17. Procedimiento según la reivindicación 15, en el que la máquina multieje es una máquina (20) de corte por chorro de agua de 5 ejes que tiene tres ejes de traslación y dos ejes de rotación no paralelos que convergen para formar un punto focal de la máquina, y en el que el cálculo de los parámetros de transformación en base, al menos en parte, a la información indicativa de la segunda secuencia de posiciones y orientaciones de la herramienta incluye el cálculo de parámetros de transformación que compensan al menos una falta de alineación entre un vector de herramienta que pasa por el punto focal de la máquina y una línea central de herramienta de la herramienta.

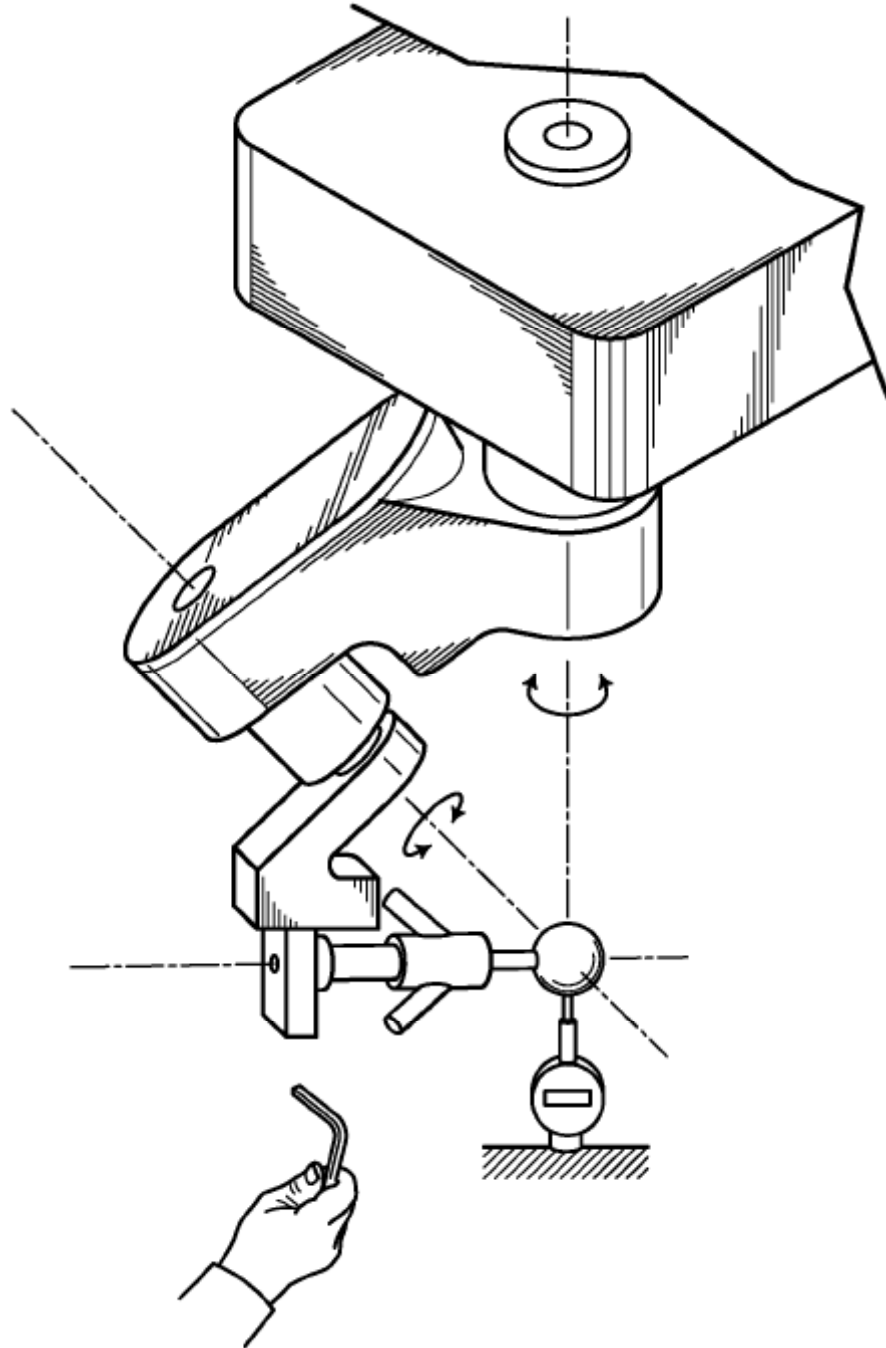


FIG.1 (Técnica anterior)

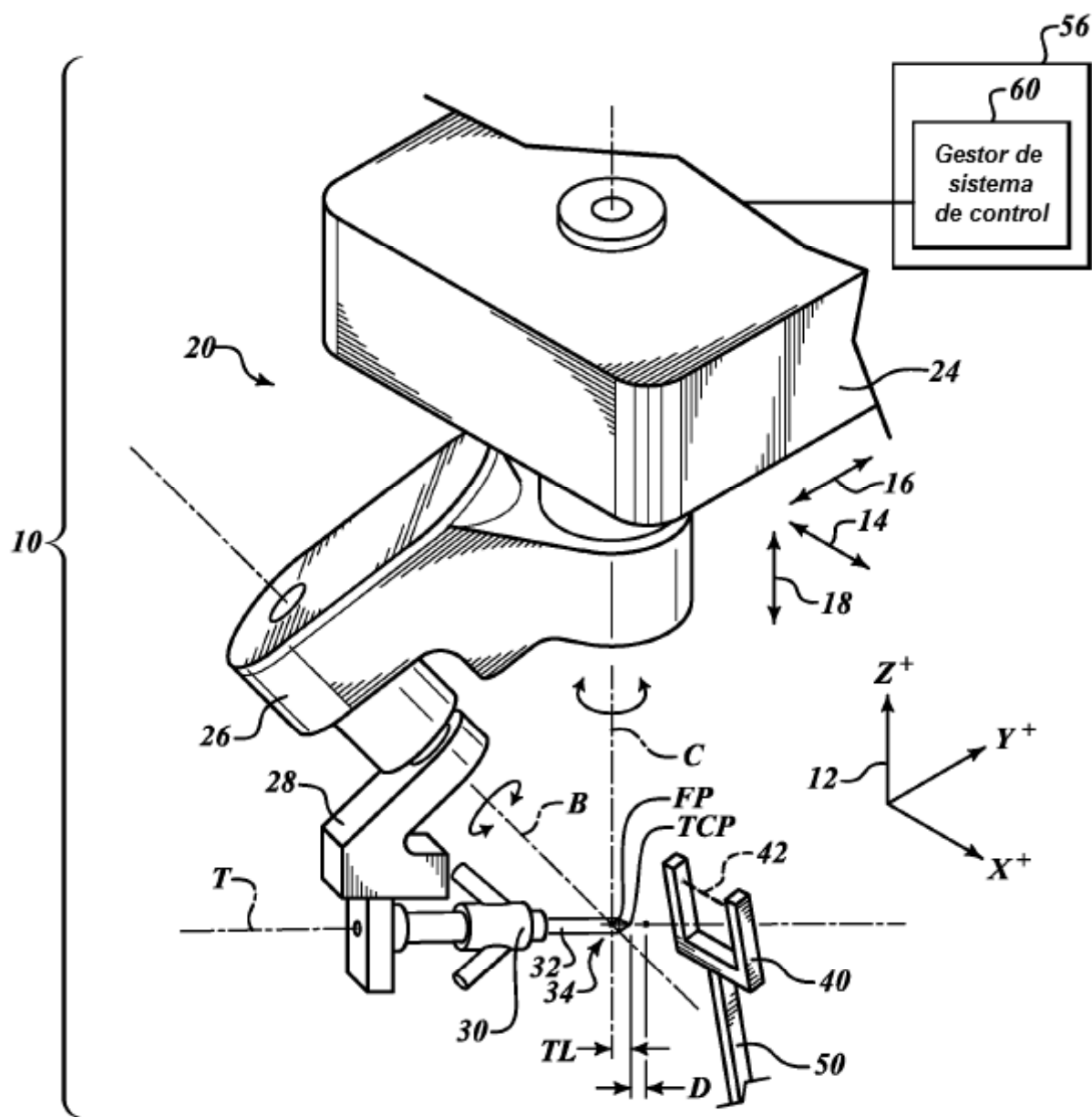


FIG.2

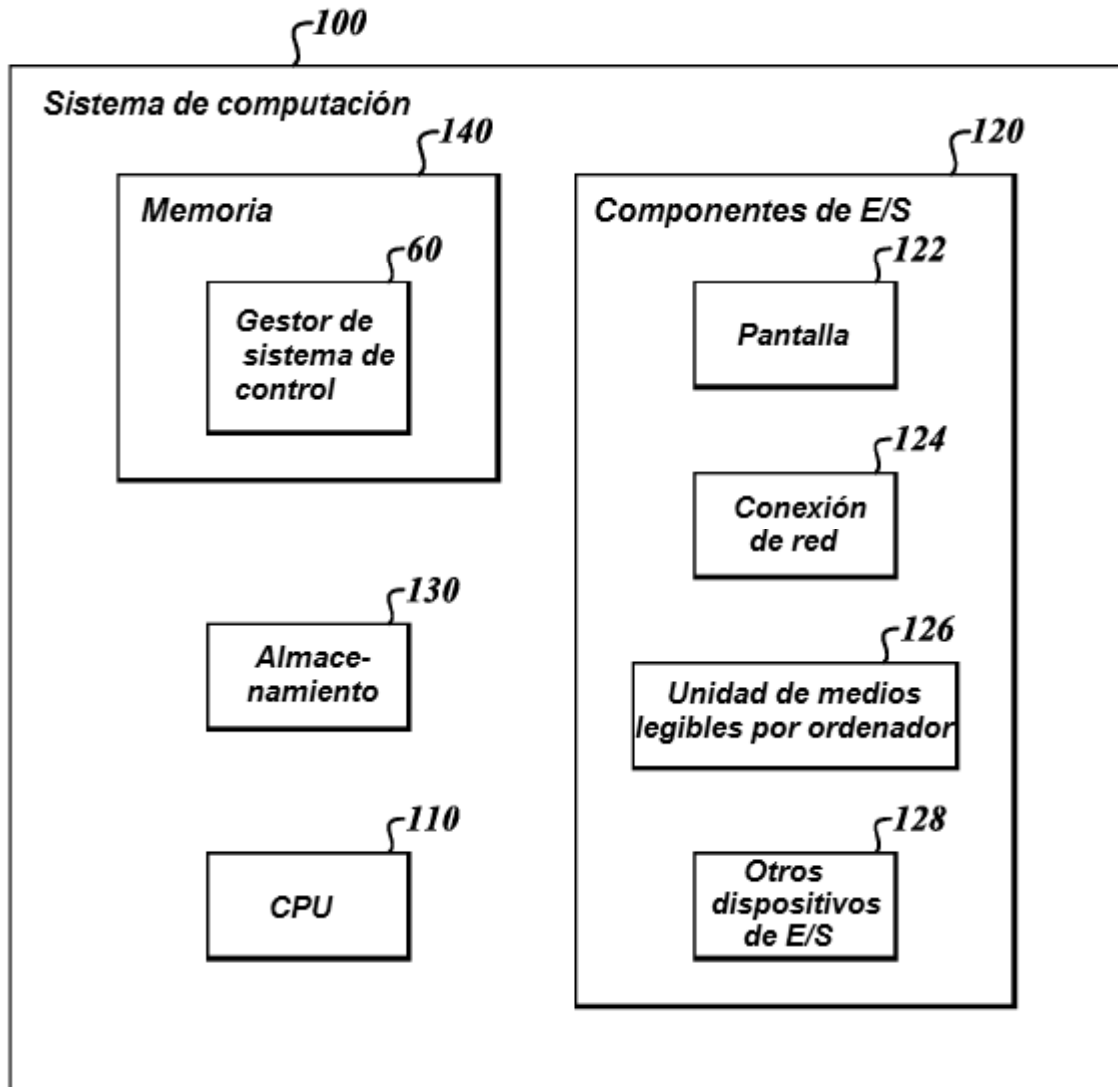
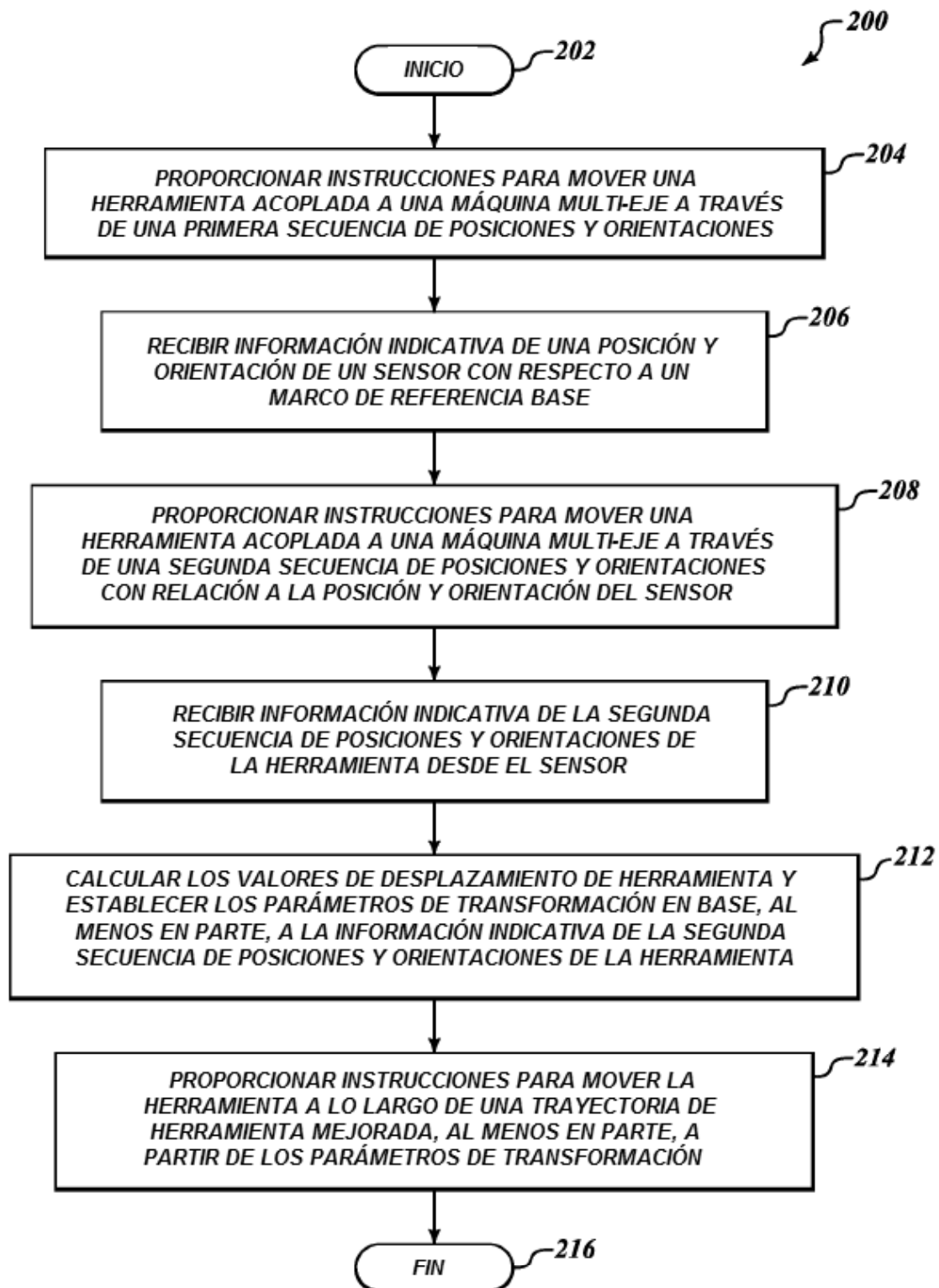


FIG.3

***FIG.4***

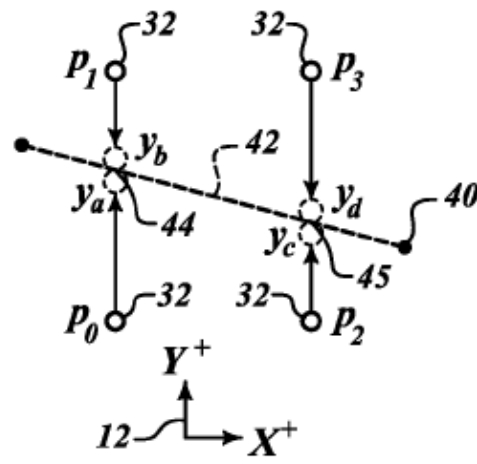


FIG. 5

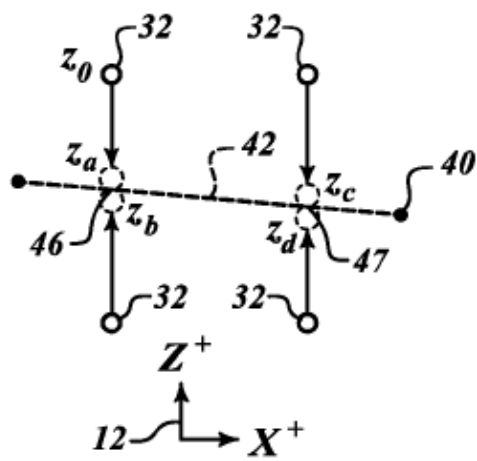


FIG. 6

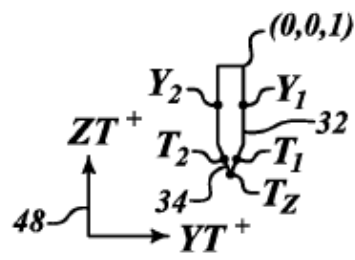


FIG. 7A

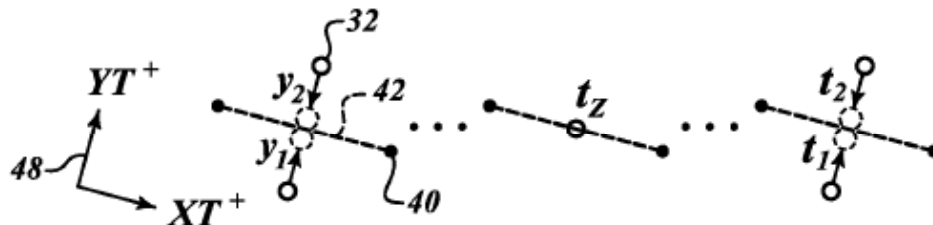


FIG. 7B

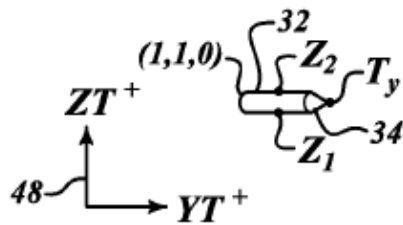


FIG. 8A

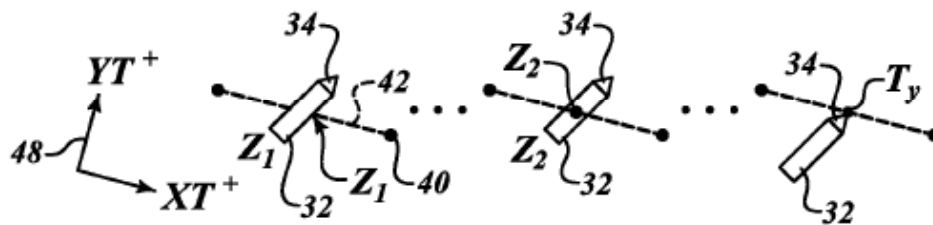


FIG. 8B

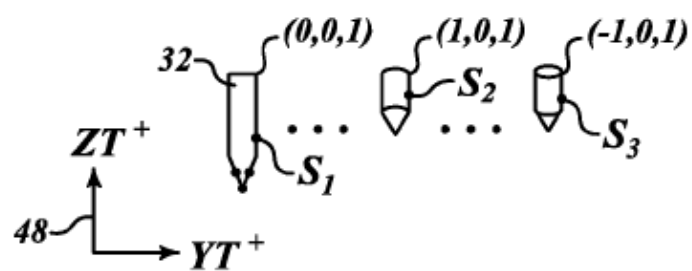


FIG. 9A

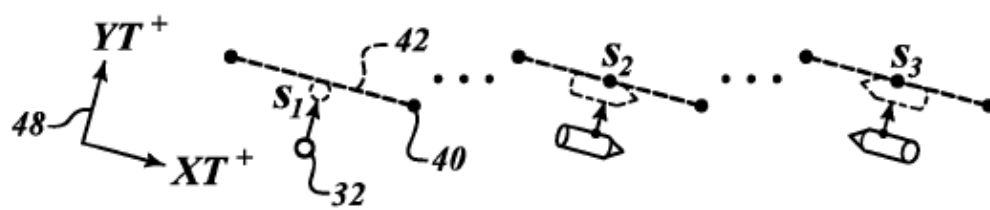


FIG. 9B

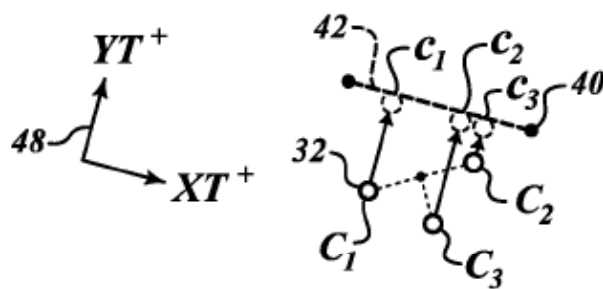


FIG. 10

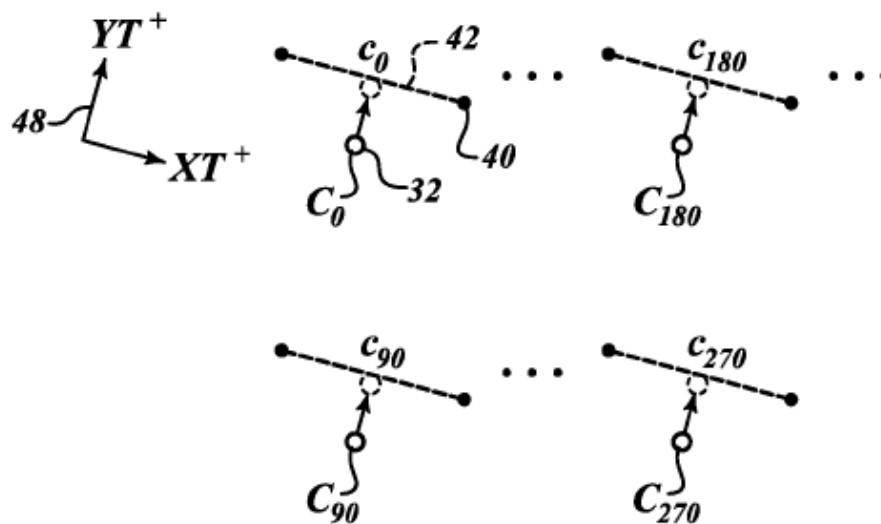


FIG.11