

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 443 820**

51 Int. Cl.:

B23K 10/00 (2006.01)

B23K 26/38 (2006.01)

B23K 26/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.06.2009 E 09162986 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.11.2013 EP 2135701**

54 Título: **Métodos y sistemas para el control predictivo de la altura de un soplete**

30 Prioridad:

17.06.2008 US 73323 P

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

20.02.2014

73 Titular/es:

**FAGAN, MATTHEW (100.0%)
95 Canterbury Road, Middle Park
Melbourne, Victoria 3206 , AU**

72 Inventor/es:

FAGAN, MATTHEW

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 443 820 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

Métodos y sistemas para el control predictivo de la altura de un soplete

5 CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere al campo de la tecnología de corte de piezas, y más en particular al campo de corte de piezas a partir de placas o chapas metálicas mediante controlar la altura del soplete de corte. La presente invención trata de un método de control predictivo de la altura de un soplete y de una máquina de corte de control numérico con control predictivo de la altura del soplete, de acuerdo con la reivindicación 1 y la reivindicación 8. La presente invención puede aplicarse al corte de chapas y placas metálicas planas, y asimismo al control de sistemas de biselado en los que los sopletes cortan en un ángulo diferente a la vertical con respecto a la superficie de una pieza.

15 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Haciendo referencia a la figura 1, una máquina de control numérico, o máquina NC, es una máquina de corte con una unidad de control numérico (150) que guía una trayectoria de una herramienta de corte (por ejemplo, un soplete de corte (125), sobre un banco (140) sobre el que descansa una chapa o placa (160) generalmente plana. En general, las máquinas NC cortan una serie de piezas perfiladas desde la chapa/placa (160) con un soplete vertical.

El corte con una máquina NC está controlado mediante un programa NC que reside en una unidad de control NC (150). Habitualmente, este programa NC es una lista legible por el usuario, de coordenadas y comandos que utiliza las letras A-Z y los números 0-10. Habitualmente, los caracteres adicionales incluyen los signos de periodo ("."), positivo ("+") y/o negativo ("-"). Habitualmente, los ejes planos ortogonales de la máquina NC se designan mediante las letras "X" e "Y", aunque en algunos lenguajes NC dicha designación es implícita mediante su posición en la línea de control de texto, siendo "X" el primer número e "Y" el segundo. Dicha lista de movimientos y acciones se conoce como un programa NC. Las máquinas NC se utilizan ampliamente en las industrias manufactureras, y habitualmente cumplen una versión del estándar Electronic Industry Standard 273 conocida como Word Address, o el estándar europeo equivalente conocido como ESS1, que está definido mediante International Standards Organization como ISO 6582, y que utiliza solamente números 0-9, signos "+" y "-", y lee implícitamente los ejes X e Y mediante la posición en una expresión tal como +100+200, donde el desplazamiento en X es de 10 mm y el desplazamiento en Y es de 20 mm.

Algunas máquinas NC, tal como en las realizaciones descritas a continuación, se conocen como máquinas "perfiladoras", las cuales cortan formas a partir de un material plano de placa o chapa con sopletes (125), que pueden incluir los de oxiacetileno, plasma, láser y/o chorro de agua.

El soplete (125) es desplazado, en general, verticalmente utilizando un control de la altura del soplete (THC, Torch Height Control) (130) motorizado, montado en una grúa pórtico (135). El THC (130) permite a la máquina NC cortar materiales de varios grosores mediante retirar y bajar el soplete (125) hacia el material (160) a cortar. En general, cuando se cortan formas en dos dimensiones, es importante controlar la altura del soplete (125) sobre el material (160).

Habitualmente, las máquinas tales como la mostrada en la figura 1 están diseñadas para ser planas y horizontales. Se prevé que el banco (140) sobre el que está situada la placa/pieza de trabajo sea asimismo plano, si bien el banco (140) tiende a dañarse en el tiempo con la utilización. Se considera que la placa está sustancialmente próxima a ser "plana" originalmente, y puede aplanarse más antes del corte si es necesario. Se supone asimismo que las guías sobre las que discurre la grúa pórtico (135) son sustancialmente planas y horizontales. Por lo tanto, en principio se espera que todas las superficies sean casi planas, horizontales y paralelas desde el comienzo de las operaciones. Por lo tanto, en teoría sería concebible que una máquina nueva y limpia con un banco plano debería ser capaz de cortar una placa sin utilizar retroalimentación del control de la altura. En realidad, la retroalimentación del control de la altura puede evitarse solamente para cortes de distancias cortas. En la práctica, el riesgo de que el cabezal de corte colisione con la placa es demasiado elevado para piezas grandes y cortes en distancias largas.

Por otra parte, cuando se cortan piezas con bordes biselados, el mantenimiento de la altura del cabezal se vuelve más crítico que cuando los bordes de una pieza de corte no están biselados. Se muestra la altura del soplete (210), por ejemplo, en la figura 2. Los sopletes de láser se utilizan normalmente para cortar materiales delgados, en el intervalo de grosor de 0-10 mm, por ejemplo, aunque se utilizan algunos sopletes de láser para cortar aluminio de

hasta 50 mm de grosor. La altura del soplete (210), o la distancia de corte del soplete a la placa, no es habitualmente mayor de unos pocos milímetros cuando se utiliza a un soplete de láser. Por otra parte, los sopletes de plasma se utilizan normalmente para cortar materiales más gruesos, en el intervalo de grosor de 0-50 mm, y en ocasiones de hasta 160 mm de grosor. La distancia del soplete a la placa con un soplete de plasma es habitualmente de 4-10 mm. Los sopletes de oxiacetileno y de chorros de agua se utilizan normalmente para cortar materiales de hasta 400 mm de grosor, estando las distancias del soplete a la placa en el orden de aproximadamente 20 mm.

Para los sistemas en los que se utiliza un soplete vertical para cortar una chapa o placa, es importante fijar y mantener la altura del soplete (210) en un punto óptimo por encima del material, lo cual puede realizarse mediante un sistema de control de la altura del soplete (THC) (220), junto con un motor (200) (que se ve mejor en la figura 2), que hace subir y bajar un soplete (205) según sea necesario.

Otra utilización para el sistema THC (220) es evitar colisiones con el material de la placa, o con las piezas cortadas del material que pueden haberse desplazado o fraccionado desde el mismo. En ocasiones, incluso el propio esqueleto de desecho de la placa puede saltar o doblarse y golpear el soplete (205) mientras éste es desplazado a través del material. De este modo, puede utilizarse un control de la altura para impedir daños en el soplete, y para optimizar la altura del soplete, y por lo tanto la calidad del corte.

La altura del soplete (210) se mantiene mediante un bucle de retroalimentación separado, independientemente del control de NC (CNC, NC control) (260) y del controlador lógico programable (PLC, programmable logic controller) (270), que genera el eje X (280) y el eje Y (290). El sistema THC (220) funciona midiendo la altura del soplete (210) durante el corte de la placa o material. En el corte por plasma, por ejemplo (tal como se muestra en la figura 2), la altura del soplete (210) –durante el corte– se mantiene mediante medir la tensión de un arco de plasma, que está relacionada directamente con su longitud de arco. La tensión es suministrada por una fuente de alimentación (230) al sistema THC (220), que a su vez acciona el motor (200) para regular la altura del soplete (205), a efectos de mantener la tensión y la altura del soplete (210) dentro de límites deseados. El sistema de retroalimentación se utiliza de manera casi universal para sopletes de plasma, y es independiente del control NC (CNC) (260) durante el funcionamiento. Dicha tecnología se conoce normalmente como control automático de la tensión (AVC, Automatic Voltage Control), y elimina la necesidad de un dispositivo independiente de detección de la altura. Los sistemas AVC son convenientes para el corte por arco de plasma debido a que la interferencia entre la electrónica sensible en un sensor utilizado en un sistema de medición diferente, en la presencia de un arco de plasma, puede hacerla ineficaz. Otros sensores continuos de altura incluyen láseres, dispositivos acústicos, sensores de anillo capacitivo y/o varios elementos móviles sobre la placa, que son arrastrados o ruedan sobre la superficie de la placa.

El bucle de control de la altura, separado e independiente, entre un sensor y el THC (220) permite que los controles NC (260) concentren potencia de procesamiento sobre otras funciones que son de prioridad superior, lo cual puede ser significativo cuando la potencia de procesamiento está limitada. El movimiento del soplete (205) para mantener la altura de soplete (210) es, en principio, consecuencia solamente de una placa doblada, o de que la placa y la máquina no son ambas horizontales y perfectamente paralelas entre sí. Por esta razón, la altura del soplete (210) debe ser independiente del programa NC convencional, que está relacionado solamente con el movimiento XY de un soplete vertical (205), y no lo está en absoluto con el movimiento en la dirección vertical o Z. Por lo tanto, la comunicación entre el control NC (260) y el THC (220) está, normalmente, limitada a funciones generales tales como "Subir", "Bajar", "Activar control de altura" y "Desactivar control de altura". En la mayor parte de las perfiladoras, el control NC (260) no controla directamente la altura exacta, Z, durante el corte.

Los sistemas convencionales de control de la altura tienden a funcionar adecuadamente para un corte vertical simple (es decir, cuando el soplete de corte está alineado perpendicularmente a la pieza de trabajo), pero la altura del soplete con respecto a la pieza de trabajo puede variar dentro de un intervalo de distancias considerable. Para el corte por plasma, la variación puede ser habitualmente de +/- 3 mm. Para el corte vertical de soplete, la variación tiende a afectar solamente a la calidad del corte, pero afectará poco a la forma de la pieza que es cortada.

Generalmente, los dispositivos mecánicos que contactan físicamente con la placa a cortar son más precisos que los dispositivos AVC, pero se sabe que los dispositivos mecánicos experimentan problemas cuando sus cabezales de corte discurren sobre trayectorias cortadas previamente, o caen en orificios en la pieza de trabajo. Dichas dificultades pueden requerir programas NC muy complejos para evitar estos obstáculos a efectos de cortar eficientemente. Los pies mecánicos de cojinetes de bolas, por ejemplo, pueden bloquearse con suciedad o metal de la superficie o desechos de la pieza de trabajo.

Se sabe que la relación convencional entre la tensión de arco (por ejemplo la tensión de arco detectada (240)) para corte por plasma y la respectiva altura del soplete es solamente un intervalo general, y no un valor específico, debido a que el arco AVC es inestable al comienzo del corte, e incluso cuando el arco se "estabiliza", es necesario seguir promediando la tensión requerida para el AVC debido a variaciones continuas en el arco por razones diferentes a la variación de la altura del soplete (210); se sabe asimismo que AVC es menos útil para cortar orificios pequeños y esquinas gruesas, debido a que las fluctuaciones habituales en las condiciones del arco pueden producir cambios desfavorables en la altura del soplete, que resultan por lo tanto en cortes de menor calidad.

Un inconveniente significativo en la utilización de sistemas THC de retroalimentación convencionales, tal como el mostrado en la figura 2, es que cuando el soplete (205) atraviesa un orificio en el material, el soplete (205) puede "sumergirse" (es decir, caer hacia dentro del orificio). La inmersión tiene como resultado que el sistema THC es incapaz de distinguir entre el orificio y una simple variación en la altura del material de la pieza de trabajo. Los sistemas convencionales se enfrentan a dichos problemas desconectando el control de la altura en el programa NC en varios puntos en la trayectoria de corte programada, por ejemplo, tal como cuando el soplete (205) se mueve cerca de orificios o trayectorias cortadas previamente, o cuando corta en material de desecho de la pieza de trabajo que puede estar inclinado o suelto. Las inmersiones del soplete pueden tener como resultado un corte de baja calidad, y asimismo colisiones dañinas entre el soplete y el material de la pieza de trabajo.

Las inmersiones del soplete son difíciles de evitar debido a que la trayectoria de corte de una pieza encontrará invariablemente un orificio, por lo menos cerca de la salida de la trayectoria de corte, para soltar la pieza cortada respecto del material de la pieza de trabajo. De manera similar, un vacío en la pieza de trabajo puede encontrarse asimismo en la trayectoria de corte, cuando una pieza de material de desecho adyacente puede haber caído fuera de la pieza de trabajo a causa de un corte anterior. Por consiguiente, muchos programas NC dependen además de la generación de complejas trayectorias de la máquina para evitar atravesar orificios cortados previamente, o si no dichos programas fuerzan levantamientos completos del soplete después de que ha sido cortada cada pieza u orificio. Debido a que los levantamientos de soplete pueden retardar significativamente el proceso de corte, los levantamientos completos del soplete para cada pieza u orificio pueden aumentar mucho el tiempo necesario para cortar y procesar un conjunto anidado de piezas, o para atravesar un patrón de orificios en una pieza. Dado que las variaciones en el perfil de la placa no se conocen antes del corte, dicha ralentización convencional de los procesos se produce incluso cuando el material de la pieza de trabajo es, a todos los efectos, razonablemente plano, y cuando las variaciones THC son absolutamente irrelevantes para los cortes verticales.

Pasando a continuación a la figura 3, cuando el corte no sólo es vertical, algunas máquinas más complejas permiten que un soplete (305) (por ejemplo, los sopletes (125), (205) de las figuras 1, 2, respectivamente), sean inclinados bajo el control del programa, para crear un borde biselado en una pieza cortada. Múltiples pases de corte sobre una pieza de trabajo, cada uno a un ángulo de inclinación diferente con respecto al soplete, tal como se muestra la figura 4, pueden crear múltiples biseles en un borde de la pieza. El biselado es de gran interés comercial debido a que la mayor parte de los materiales cortados tienen que ser a continuación soldados en otras piezas, lo cual en la técnica es, habitualmente, un proceso manual lento, difícil, liso y caro. Pero el proceso de soldadura puede simplificarse y hacerse más eficiente mediante llevar a cabo en primer lugar las operaciones de biselado sobre la pieza durante el proceso de corte, tal como se muestra mejor en la figura 4.

Sin embargo, se sabe que en las operaciones de biselado de bordes los problemas principales se producen con sistemas THC independientes que están basados en retroalimentación continua desde sensores de altura durante el corte. Haciendo referencia de nuevo a la figura 3, el presente inventor ha descubierto que los sistemas convencionales de control de la altura desplazan el soplete solamente en la dirección vertical (300), a efectos de mantener la longitud del arco (310), y no a lo largo del eje (340) del soplete (305). Por lo tanto, cualquier movimiento en la dirección vertical (300) sin un movimiento simultáneo de la placa/pieza de trabajo asociada cambiará el punto de intersección deseado (320), cortando así en un punto diferente e incorrecto (330) sobre la superficie de la placa (es decir, en el punto de intersección (320)). Cuando se produce dicho desplazamiento, el ángulo del soplete (305) seguirá siendo correcto, pero la posición de corte sobre la placa/pieza de trabajo será incorrecta. A modo de ejemplo, a 45 grados de inclinación del soplete (305), un desplazamiento vertical de 1 mm en la dirección (300) (para mantener la longitud del arco (310)) tendrá como resultado un desplazamiento horizontal de 1 mm en la pieza de trabajo, entre los puntos (320) y (330).

Por consiguiente, las máquinas convencionales de biselado experimentan un movimiento vertical no planificado del soplete, es decir, no causado por una variación de la distancia del soplete a la placa (210) (ver la figura 2), que tiene como resultado cortes incorrectos en el contorno de las piezas respectivas. Por ejemplo, en los sistemas AVC, la longitud del arco/tensión (310), que varía aproximadamente con la altura del soplete, no es una medida absoluta

precisa de la altura del soplete. Asimismo, la longitud del arco/tensión (310) se ve afectada por muchos otros factores, que incluyen la ausencia del material eliminado previamente, la proximidad de cortes previos u otros factores relacionados con condiciones normales de variación del arco que no están relacionadas con la altura del soplete. No se considera que estos factores causen problemas para aplicaciones de corte vertical, pero sin duda 5 conducirán a problemas de precisión significativos en el corte de biseles, dado que el punto (330) no es el punto deseado (320).

Haciendo referencia nuevamente a la figura 4, el corte de biseles para la preparación de soldaduras puede implicar uno, dos, tres o más pases del soplete. Se muestra un ejemplo de biselado de tres pases representado por un corte 10 inferior (400), un corte central (410) y un corte superior (420), que pueden realizarse todos ellos en este orden respectivo. Se muestra una preparación de biseles en forma de "K", y puede utilizarse para la soldadura subsiguiente de la pieza cortada de la placa. Para que la pieza cortada sea utilizable, la tolerancia de las dimensiones (430), (440) y (450) debería estar dentro de +/-1 mm. Sin embargo, si el THC varía dentro de los +/-3 mm habituales, tal como se ha descrito anteriormente, dichas tolerancias son imposibles de conseguir.

15 Debido a dichas dificultades en la obtención de las tolerancias dimensionales deseadas para las piezas biseladas, la utilización de máquinas NC de llama, chorro de agua y plasma para la preparación de piezas listas para soldadura ha sido históricamente inaceptable. Por lo tanto, estos tipos de máquinas representan menos del 1% de todas las máquinas vendidas. Tal como ha descubierto el presente inventor, las máquinas de plasma que se utilizan para la 20 preparación de soldadura multi-pase son poco comunes, y es incluso más infrecuente que funcionen satisfactoriamente, incluso para una operación de biselado de un solo pase. A menudo, se abandonan los intentos con dichas máquinas de realizar cualquier corte diferente a una vertical. Los principales fabricantes de dichas máquinas han intentado durante muchos años fabricar máquinas para biseles multi-pase, pero la mayor parte han abandonado como impracticables los sistemas basados en AVC.

25 Tal como se ha descrito anteriormente, para placas y bancos de máquinas teóricamente planos, dichos cortes pueden ser realizados razonablemente sin requerir retroalimentación en el control de la altura. Sin embargo, en la práctica, limitar los cortes a solamente distancias cortas y/o piezas de trabajo pequeñas no es práctico ni económicamente viable.

30 Un enfoque alternativo que se ha intentado es la medición del perfil de la placa después de que ésta es cargada, pero antes de ser cortada. Se sabe que la compañía Messer Greisham, por ejemplo, ha implementado un concepto de medición anterior de puntos XYZ particulares de una pieza de trabajo, antes de cortar la misma. En el enfoque de Messer Greisham, se introducen comandos del programa NC para desplazar el cabezal de corte del soplete a 35 puntos predeterminados a lo largo de una trayectoria exacta a cortar, pero antes del propio corte real. Se mide la tensión en cada uno de los puntos XY particulares sobre la pieza de trabajo, y se almacena en la memoria del control NC (150) para cada punto XY medido. Cuando la máquina alcanza de nuevo estos mismos puntos XY durante el corte, el programa NC recuerda la tensión AVC medida previamente, para aproximar un valor de la altura a partir del valor recordado de la tensión. Estos puntos XY son elegidos por el programador NC durante la creación 40 del programa NC.

De acuerdo con el enfoque de Messer Greisham, los puntos XY deben ser elegidos por el creador del programa NC antes del corte, y a continuación incorporados al programa NC. A continuación, estos puntos deben ser recordados 45 explícitamente durante el corte, y en las mismas posiciones respectivas. Por lo tanto, el enfoque requiere una estimación cualificada del programador sobre principios generales, sin conocimiento previo de la forma de la pieza de trabajo de la placa. En una situación de multi-pase, en la que las trayectorias son casi paralelas pero ligeramente diferentes, la habilidad requerida del programador se incrementa sustancialmente. En general, un programador habitual no está considerado capaz de programar la máquina NC para funcionar dentro de las tolerancias requeridas. La codificación del programa NC debe completarse asimismo antes que se produzca anidamiento, factor 50 que constituye un impedimento significativo para el propio proceso de anidamiento. Deben realizarse cambios sustanciales al control NC para dar cabida a transformaciones geométricas de biseles individuales, como parte del programa. El enfoque utiliza muestras de la tensión de arco medida en puntos específicos lo cual, tal como se ha indicado anteriormente, no es una medición directa de la altura del soplete.

55 Si bien el enfoque de Messer Greisham puede ser mejor que el enfoque de retroalimentación dinámica en las operaciones de biselado, debido a que la altura Z es teóricamente "correcta" al comienzo de cada movimiento de la máquina, sigue existiendo el problema de que el enfoque del soplete se basa en la hipótesis de que Z varía linealmente entre los puntos que, de hecho, se miden previamente a la operación de corte. Tal como se ha descrito anteriormente, numerosos factores pueden reducir drásticamente la viabilidad de dicha hipótesis. Cuando una pieza

- de trabajo/placa es sustancialmente plana dentro de tolerancias deseadas, y la planitud no se ve alterada significativamente durante el proceso de corte, la hipótesis de Messer Greisham puede ser suficiente. Sin embargo, el presente inventor ha descubierto que, en la práctica, cuando se realizan cortes largos o curvos, la planitud y el paralelismo de la respectiva placa, banco y máquina variarán en el orden de 10 mm, y sobre un recorrido de 5 solamente unos pocos metros. Por consiguiente, el enfoque de Messer Greisham puede crear riesgos peligrosos para las piezas de la máquina, dado que la distancia entre la pieza de trabajo y el cabezal de corte, por ejemplo, no es una línea recta a lo largo de todo el corte, lo que tiene como consecuencia un riesgo significativo de colisión entre la placa y el soplete.
- 10 El enfoque de Messer Greisham requiere además la utilización de códigos especiales en el programa NC, lo que hace que la programación no sea estándar, requiriendo por lo tanto extensiones adicionales para la mayor parte de los lenguajes NC estándar, especialmente para el código ESSI descrito anteriormente, así como costes y recursos adicionales para implementar eficazmente dicho enfoque. El enfoque de Messer Greisham tampoco parece utilizar un eje Z programable directamente (ver el elemento (745) de la figura 7, descrito mas abajo), sino que en su lugar
15 utiliza simplemente la tensión del arco que fue grabada previamente por el programa NC (ver elemento (260), figura 2) en un THC tradicional (ver elemento (220), figura 2). El enfoque de Messer Greisham no utiliza ningún elemento de predicción; por el contrario, mide y recuerda tensiones específicas en torno a la trayectoria a cortar.

El documento US 4 591 689 A da a conocer un método y un aparato de guiado adaptativo.

20

RESUMEN DE LA INVENCION

En el presente documento se describen métodos y sistemas para mantener la altura del soplete con precisión sobre el material a cortar, mediante medición anterior y predicción dinámica. Se realiza una medición preliminar y precisa
25 de una serie de alturas en puntos a través de la placa a cortar, utilizando un sensor de altura y el comportamiento programable de la máquina.

En una realización, un método regula la altura de un soplete de corte, montado en una grúa pórtico de una máquina de corte de control numérico, con respecto a una placa montada en un banco de corte de la máquina de corte de
30 control numérico. El soplete de corte es situado, utilizando la grúa pórtico, en cada uno de una serie de puntos discretos XY sobre la placa, en un plano XY. Se mide la distancia entre un dispositivo de detección montado en el soplete de corte y la superficie superior de la placa, en cada uno de los puntos XY, para formar un conjunto de puntos de contorno XYZ; siendo medida la distancia a lo largo de un eje Z que es sustancialmente perpendicular al plano XY. Se genera un modelo de superficie basado en el conjunto de puntos de contorno XYZ, dentro de un
35 módulo de predicción de superficies, y se controla a la altura del soplete de corte mientras se corta la placa, en base a una altura deseada y al modelo de superficie, de manera que el soplete de corte se mantiene a la altura deseada sobre la superficie superior durante el corte de la placa.

En otra realización, una máquina de corte de control numérico tiene un control predictivo de la altura del soplete, e incluye un banco de corte para soportar una placa a cortar, una grúa pórtico para atravesar el banco de corte en un
40 plano XY sustancialmente en paralelo al banco de corte, un soplete de corte montado en la grúa pórtico y que tiene un posicionamiento vertical en un eje Z que es sustancialmente perpendicular al plano XY, un controlador para controlar que la grúa pórtico mueva el soplete de corte a lo largo de una trayectoria de corte, y un módulo de predicción de superficies para predecir la altura de una superficie superior de la placa en base al modelo de
45 superficie de la superficie superior, y para regular la posición vertical del soplete de corte con respecto a la superficie superior, de manera que el soplete de corte se mantiene sustancialmente a una altura deseada sobre la superficie superior durante el corte de la placa.

BREVE DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS

50

La figura 1 muestra un sistema convencional de corte de piezas de control numérico.

La figura 2 muestra un sistema convencional de control de la altura que utiliza control automático de la tensión para manejar la altura del soplete.

55

La figura 3 muestra una consecuencia del movimiento vertical sobre la geometría de una pieza a cortar cuando se utiliza un soplete inclinado, de acuerdo con la técnica anterior.

La figura 4 muestra una preparación para soldadura que implica tres cortes para formar un perfil de borde deseado.

La figura 5a muestra una trayectoria de corte de muestra, de piezas a cortar desde la pieza de trabajo.

La figura 5b muestra una trayectoria de escaneado de muestra para recoger puntos XYZ antes de un corte.

5

La figura 6 muestra un ajuste de una superficie a una colección de puntos XYZ para predecir Z en un punto arbitrario.

La figura 7 muestra un sistema predictivo de control de la altura de un soplete, a modo de ejemplo, que utiliza un modelo de predicción de superficies junto con el movimiento directo del soplete en el eje Z, de acuerdo con la realización.

10

La figura 8 es un diagrama de flujo que muestra un proceso a modo de ejemplo para el control predictivo de la altura de un soplete.

15

La figura 9 es un diagrama de flujo que muestra un método a modo de ejemplo para el control predictivo de la altura de un soplete.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

20

La figura 7 muestra un sistema de control predictivo de la altura de un soplete a modo de ejemplo, para una máquina de control numérico (NC) (699) que recorta piezas de una placa (715). En adelante, la placa (715) puede denominarse asimismo una pieza de trabajo. La máquina NC (699) incluye un controlador numérico informático (CNC, computer numerical controller) (760), un controlador lógico programable (PLC, programmable logic controller) (770), un motor del eje Z (700) y un soplete de corte por plasma (705) alimentado desde una fuente de alimentación de plasma (730). Aunque se muestran en este ejemplo como una fuente y un soplete de corte por plasma, el soplete de corte (705) y la fuente de alimentación de plasma (730) pueden representar cualquier tipo de soplete de corte conocido en la técnica. Tal como se muestra, el CNC (760) envía coordenadas X, Y y Z al PLC (770), que a su vez entrega los valores de eje X (780) y eje Y (790) para controlar la posición horizontal del soplete de corte (705) (es decir, controlar una grúa pórtico que transporta el soplete de corte (705)) y entrega el valor del eje Z (745) al motor del eje Z (700) para controlar el movimiento vertical (707) del soplete de corte (705).

25

30

La máquina NC (699) incluye asimismo un módulo de predicción de superficies (750) que interactúa con el CNC (760) para proporcionar al CNC (760) información de la altura Z (764), para una posición X Y dada (762), en base a un modelo de superficie (751) de la placa (715) obtenido a partir de puntos de contorno XYZ (por ejemplo, puntos de contorno XYZ (500), descritos a continuación con respecto a la figura 5b). Dado que el módulo de predicción de superficies (750) modeliza la superficie (708) de la placa (715), el módulo de predicción de superficies (750) puede determinar la información de la altura Z (764) para cualquier posición X Y (762). Más específicamente, el modelo de superficie (751), dentro del módulo de predicción de superficies (750), reproduce la topología superficial de la placa (715) con más precisión que una simple interpolación lineal entre puntos iniciales de corte. El módulo de predicción de superficies (750) puede utilizar uno o varios métodos (por ejemplo, superficie de Bezier, B-spline racional no uniforme (NURBS, uniform rational B-spline), superficies de Gordon y superficies de Coon) de modelización de la superficie de la placa (715).

35

40

El módulo de predicción de superficies (750) puede implementarse dentro de un controlador (780) basado en ordenador personal (PC, personal computer), tal como se muestra alojando el CNC (760) dentro de la máquina NC (699).

45

En una realización, cuando la máquina NC (699) no modifica dinámicamente (es decir, el CNC (760) no controla de manera programática) la altura del soplete de corte (705) en base a un programa NC del usuario, el soplete de corte (705) puede estar preconfigurado para tener una altura deseada (por ejemplo, 10,0 mm) sobre la placa de corte (715) en la máquina NC (699). El módulo de predicción de superficies (750) modeliza la superficie de la placa (715), de manera que la información predicha de la altura Z (764) representa un valor absoluto de la altura para el soplete de corte (705). Es decir, el módulo de predicción de superficies (750) determina un valor del eje Z (745) en base a la posición X Y (762), de manera que se controla el motor del eje Z (700) para mantener la altura del soplete de corte (705) sustancialmente constante sobre la superficie de la placa (715). En otras palabras, el módulo de predicción de superficies (750) modeliza la superficie que sigue el soplete de corte (705) para mantener una altura sustancialmente constante sobre la superficie de la placa (715).

50

55

- 5 Considerérese un ejemplo de funcionamiento, en el que en la posición X Y, '1752', '1584', la superficie (708) de la placa (715) es 3,7 mm más alta que un punto de referencia, almacenado como una medición de altura de referencia (752) de la placa (715), donde la altura del soplete (705) es de 10,0 mm. Aunque la altura del soplete no es modificada por el CNC (760), el soplete de corte (705), cuando se sitúa sobre la posición X Y, '1752', '1584', está
 10 solamente 6,3 mm por encima de la superficie (708). Dado que el modelo de superficie (751) predice la variación en altura de la superficie (708) con respecto al soplete (705), el módulo de predicción de superficies (750) puede devolver un valor del eje Z (por ejemplo, información de la altura Z (764)) que sigue el CNC (760) para entregar un valor del eje Z corregido (745), a efectos de situar el soplete de corte (705) a la altura correcta para la posición X, Y (762).
- 15 En una realización, el modelo de superficie (751) modeliza una variación en la superficie (708) respecto de una superficie plana a la altura de soplete deseada. Por lo tanto, la información de la altura Z (764) determinada a partir del modelo de superficie (751) representa directamente el valor del eje Z (745). En una realización alternativa, el modelo de superficie (751) se genera en base solamente a la variación de la superficie (708), y por lo tanto genera
 20 información de la altura Z (764) como una diferencia que se añade al valor deseado del control de la altura, o se resta del mismo. Pueden utilizarse otros métodos similares de determinación del valor del eje Z (745) a partir del modelo de superficie (751) y la información de la altura Z (764), sin apartarse del alcance de la presente invención.
- 25 El enfoque de Messer Greisham, descrito anteriormente, parece utilizar solamente AVC convencional para controlar la altura del soplete mediante recordar una tensión V medida anteriormente en puntos específicos predeterminados a lo largo de la trayectoria de corte, de ese modo solamente aproximando la medición de la altura. Por otra parte, el módulo de predicción de superficies (750) utiliza mediciones de distancia exactas y puede generar valores de control de la altura (por ejemplo, información de la altura Z (764)) para cualquier posición X, Y sobre la placa (715). Si bien en condiciones ideales la tensión del arco está relacionada en general con la altura del soplete, este enfoque no es
 30 tan fiable o preciso como utilizar un valor medido de la variación de la altura. En particular, dado que otros factores, tales como el material eliminado mediante cortes anteriores, interfieren significativamente con la precisión de utilizar la medición de tensión para controlar la altura del soplete. Por contraste, el módulo de predicción de superficies (750) y el modelo de superficie (751) permiten que la máquina NC (699) controle el soplete de corte (705) para que esté sustancialmente a la altura deseada sobre la superficie (708) de la placa (715).
- 35 La figura 5a muestra piezas anidadas (552), (554), (558), (560), (562), (564), (566) y (568) a modo de ejemplo, a cortar de una placa (550) (pieza de trabajo). La placa (550) puede representar la placa (715) de la figura 7. Algunas de estas piezas anidadas, tal como la pieza (554), pueden incluir uno o varios orificios, tal como el orificio (556). Antes del corte, la placa (550) se carga sobre la máquina NC (699), figura 7. Después de la carga, pero antes del
 40 corte, tal como se muestra en la figura 5b, se miden a través de la superficie superior de la placa (550) una serie de puntos de contorno XYZ (500), sin relación con las trayectorias de corte de las piezas anidadas (552), (554), (558), (560), (562), (564), (566) y (568). Aunque en este ejemplo se muestran treinta puntos de contorno XYZ (500)(1)-(500)(30), pueden utilizarse más o menos puntos de contorno sin apartarse del alcance de la presente invención.
- 45 Los puntos de contorno XYZ (500) pueden medirse automáticamente, por ejemplo como una función preliminar de la máquina NC (699), figura 7. Al contrario que el enfoque de Messer Greisham, descrito anteriormente, los puntos de contorno XYZ (500) no se basan en las trayectorias de corte del programa NC de piezas anidadas (552), (554), (558), (560), (562), (564), (566) y (568), sino que por el contrario puede ser un patrón regular de puntos de muestra para proporcionar una cobertura aceptable de la superficie de la placa (550), tal como se muestra en la figura 5b.
- 50 Modelizando la superficie de la placa (550) en base a los puntos de contorno XYZ (500), puede determinarse matemáticamente la predicción de la altura vertical Z de la placa (550) en cualquier punto arbitrario sobre la placa (550). Además, a diferencia del enfoque de Messer Greisham, no se requiere ningún cambio en el programa NC para recortar piezas anidadas (552), (554), (558), (560), (562), (564), (566) y (568).
- 55 En una realización preferida, la información de la altura de los puntos de contorno XYZ (500) se mide utilizando un dispositivo de medición de la altura que tiene una precisión verificable del orden de 0,001 pulgadas, si bien pueden utilizarse asimismo otros dispositivos y precisiones, sin apartarse del alcance de la presente invención. En un ejemplo de funcionamiento, después de que la placa (550) es cargada sobre un banco de corte de una máquina NC (699), figura 7, el CNC (760) controla la grúa pórtico de la máquina NC (699) para escanear la placa (550) en una serie de pases, a efectos de generar puntos de contorno XYZ (500) que cubren la superficie de la placa (550), tal como se muestra. En cada punto de medición de contorno, el dispositivo de medición (706), por ejemplo, uno o varios de un sensor láser, uno acústico y uno mecánico, mide la distancia desde una superficie superior de la placa (550) hasta la punta del soplete de corte (705) como un valor Z, y almacena el punto de contorno XYZ (500) respectivo (posición XY sobre la placa, con la altura Z medida en dicha posición) en la memoria del CNC (760) y/o

del módulo de predicción de superficies (750). En otra realización, se mide la altura Z para cada punto de contorno (500) con respecto a un punto de referencia sobre la superficie de la placa (550). Estas mediciones pueden llevarse a cabo con mucha precisión, incluso cuando la máquina NC (699) se desplaza rápidamente entre puntos de medición. Además, dado que estas mediciones se realizan mediante desplazamientos de la propia máquina NC, de manera que se miden las diferencias entre la punta del soplete de corte (705) y la placa (550), (715), se tiene en cuenta asimismo la variación de la altura del soplete de corte (705) provocada por la propia máquina NC (699).

La figura 5b muestra treinta puntos de contorno XYZ (500), no todos numerados para mayor claridad de la ilustración. Sin embargo, no es necesario que estos puntos sean introducidos en el propio programa de corte para las piezas anidadas (552), (554), (558), (560), (562), (564), (566) y (568). Es decir, el programa de medición, las mediciones resultantes y los puntos de contorno se mantienen independientes al programa NC para recortar piezas anidadas (552), (554), (558), (560), (562), (564), (566) y (568).

Cuanto más plana es la superficie de la placa (550), (715), menos puntos de medición se requieren para predecir/modelar con precisión la topología de la superficie. Este proceso puede asimismo automatizarse con la ayuda de cualquiera de una serie de dispositivos conocidos de medición de la altura, de varias tecnologías en la técnica. El proceso de medición se acelera más cuando la placa está limpia y no dañada por cortes. Habitualmente, treinta puntos de contorno XYZ pueden medirse en entre uno y dos minutos en una máquina NC moderna, y son posibles mediciones más rápidas. Los puntos de contorno XYZ (500) pueden almacenarse en un almacenamiento permanente y/o no volátil para impedir pérdida de datos en caso de que se interrumpa la alimentación a la máquina NC.

Una vez medidos, los puntos de contorno XYZ (500) (por ejemplo $X_1Y_1Z_1$ hasta $X_{30}Y_{30}Z_{30}$) pueden ajustarse matemáticamente a una superficie suave dentro del módulo de predicción de superficies (750). El módulo de predicción de superficies (750) puede representar un programa o módulo de soporte lógico que se ejecuta dentro del entorno del CNC (760). Modelizando una superficie sustancialmente continua, no quebrada y suave -que debería ser casi plana en la mayor parte de los casos- en base a los puntos de contorno XYZ (500) puede predecirse con precisión y velocidad elevadas cualquier punto sobre dicha superficie. El proceso de ajustar superficies y/o curvas suaves a una serie de puntos es conocido en las técnicas matemáticas y no se explica en mayor detalle en el presente documento, si bien en la figura 6 se muestra un esbozo indicativo de dicho ajuste. El punto (640) no es uno de los puntos de contorno XYZ (500) medidos, sino que es un punto XY arbitrario sobre la superficie modelizada, en el que se solicita un valor Z predictivo (el punto (640) puede ser un punto sobre la trayectoria de corte de una pieza anidada). El valor Z predicho, a partir del modelo de superficie (751), para el punto (640), puede representar con mucha precisión la altura real del punto correspondiente sobre la superficie de la placa (550), (715). El controlador basado en PC (780) es capaz de realizar dichos cálculos en unos pocos milisegundos.

Para cortes largos (por ejemplo, un corte largo que se obtiene a partir de un único comando NC, tal como entre dos puntos distantes), pueden calcularse y entregarse regularmente valores del eje Z durante la ejecución del corte. Por ejemplo, puede utilizarse una interpolación para obtener puntos X Y sobre un corte en línea recta entre dos puntos, para obtener valores Z que pueden ser aplicados durante dicho corte. En una realización, el CNC (760) puede incluir una primera tarjeta de PC para controlar el movimiento XY, y una segunda tarjeta de PC para controlar el movimiento Z, o de la altura.

Es importante observar que una interpolación lineal para determinar el movimiento en el eje Z entre puntos discretos no es fiable, en particular debido a que la topología superficial de la placa es independiente del programa NC. Cuando se define un corte mediante conjuntos de coordenadas, X_1Y_1 y X_2Y_2 , y un contorno predefinido de puntos, líneas y arcos, la variación en el eje Z es arbitraria, y está provocada exclusivamente por la ausencia de planitud y paralelismo del banco, la placa y/o la máquina NC. En muchos casos, una interpolación lineal del movimiento Z sobre la distancia de corte puede ser una aproximación de primer orden válida, pero es improbable que sea correcta sobre un movimiento de corte largo salvo que se obtenga en primer lugar un número de puntos muy grande y prohibitivo.

Un ejemplo de la falacia de la interpolación lineal de la altura Z entre puntos inicial y final de un movimiento programado, se muestra cuando se corta un círculo completo (no mostrado). Un círculo completo es programado generalmente como un sólo bloque de NC y corresponde a un solo movimiento. Un círculo de este tipo puede ser muy grande, de hecho tan grande como toda la placa. Utilizando solamente interpolación lineal, la variación en la altura Z sería de cero entre un punto inicial y un punto final del círculo, dado que son el mismo punto. Por lo tanto, la interpolación entre el punto inicial y el punto final (si no se midieran puntos adicionales entre ambos) tendría como resultado "sin variación Z" alrededor del círculo, lo cual sería claramente un resultado incorrecto salvo que la placa

fuera perfectamente plana. Por lo tanto, el enfoque de Messer Greisham es únicamente un compromiso que sigue utilizando solamente AVC, pero con un reseteo ocasional a la tensión de acuerdo con mediciones de tensión anteriores (no con la altura real) en puntos determinados previamente sobre la trayectoria de corte.

5 Por contraste, con la máquina NC (699), durante la ejecución de un movimiento XY específico entre el punto X_1Y_1 y el punto X_2Y_2 , por ejemplo, la altura Z es calculada a partir de la superficie modelada de la placa (715) a intervalos regulares de tiempo y/o distancia, de manera que el CNC (760) puede regular la altura del soplete de corte (705) en base a la topología medida de la placa (715). Por ejemplo, en cada punto XY sobre la trayectoria de corte, puede predecirse con precisión la altura Z respectiva –incluso antes de que comience el corte.

10

En una realización, durante la medición de la topología superficial de la placa (715), si se detecta un doblez en la placa, puede reducirse la distancia entre puntos de medición para modelizar mejor el doblez; es decir, cuando existe una variación mayor en la topología de la placa, pueden realizarse más puntos de medición (hacerse más densos) para mejorar la modelización y la predicción de la altura. De nuevo, es importante señalar que uno o varios puntos
15 deseados, tal como el punto (640) (figura 6), no tienen por qué caer directamente sobre un punto de contorno XYZ (500) medido (figura 5b). El módulo de predicción de superficies (750) puede predecir continuamente valores de altura del eje Z a partir del modelo de superficie (751), tal como se muestra en la figura 6.

Además, al medir la topología de la superficie (708) utilizando el dispositivo de medición (706) montado en el soplete
20 de corte (708), se tiene en cuenta automáticamente la variación en la placa (715) y/o en la máquina NC (por ejemplo, el banco, la grúa pórtico, etc.).

Tal como se ha descrito anteriormente, la máquina NC (699) puede utilizar uno o varios dispositivos de medición (706), tal como sensores láser, acústicos, mecánicos y/u otros sensores de altura disponibles comercialmente, que
25 se sabe generan una medición de Z casi perfecta para propósitos de corte con la mayor parte de las tecnologías de corte de placas, es decir, dentro del intervalo de +/- 0,01mm. La máquina NC (699) utiliza además ventajosamente modernos controladores numéricos basados en PC, que tienen procesadores que funcionan aproximadamente a 2 GHz, y por lo menos con un procesador de punto flotante que puede realizar rápidamente la tarea inicial y exigente de adaptar una superficie a una serie de puntos de contorno XYZ en unos pocos segundos. A continuación, el
30 presente sistema, en base a los puntos de contorno XYZ medidos y a la superficie modelizada, puede utilizar los controladores numéricos durante el movimiento y, en tiempo real, llevar a cabo una predicción de búsqueda casi instantánea de la altura Z en cualquier punto XY dado, un hito que ha sido imposible para los controles NC anteriores. La máquina NC (699), utilizando el módulo de predicción de superficies (750), permite mantener la variación de la altura entre la punta del soplete de corte (705) y la superficie de la placa (715) dentro de +/-0,1mm,
35 permitiendo de ese modo preparaciones para soldadura de alta calidad utilizando movimientos de corte biselado multi-pase.

Mientras que una ventaja importante de varias realizaciones de los presentes sistemas y métodos es la predicción
40 precisa de la altura de la placa y la mejora del control de la altura del soplete durante el corte, otras ventajas incluyen la determinación automática de la forma de la placa y la eliminación eficaz de los problemas asociados con las inmersiones del soplete y la calidad del corte para orificios y esquinas. Otra ventaja de diversas realizaciones de los presentes sistemas y métodos es la independencia permanente respecto del propio programa NC, porque no se requiere ningún cambio en el programa NC para predecir/obtener valores muy precisos de la altura del soplete en
45 todos los puntos sobre la placa. Por lo tanto, los presentes sistemas y métodos pueden tener como resultado una mejor calidad del corte incluso para el corte vertical tradicional, como sustitutos para los sistemas actuales de retroalimentación de control de la altura del soplete. Asimismo se hace innecesario el requisito de encender y apagar el control de la altura durante el corte, y no se requieren modificaciones en el programa NC ni extensiones al lenguaje NC. Los lenguajes de programación conocidos actualmente, tales como ESSI, pueden utilizar
50 inmediatamente los presentes sistemas y métodos sin cambios adicionales.

La figura 8 es un diagrama de flujo que muestra un proceso (800) a modo de ejemplo para el control predictivo de la altura de un soplete. Las etapas (802) hasta (814) pueden implementarse dentro del CNC (760) y las etapas (816) hasta (822) pueden implementarse dentro del módulo de predicción de superficies (750). Las etapas (804) hasta (816), mostradas dentro del contorno de trazos (840), representan una secuencia de inicialización que se lleva a
55 cabo para cada placa (por ejemplo, la placa (715)) cargada de la máquina NC (699). Las etapas (818) hasta (822), mostradas dentro del contorno de trazos (860), se repiten para cada una de una serie de posiciones XY utilizadas para controlar el movimiento del soplete (705) cuando se corta la placa (715).

En la etapa (802), el proceso (800) sitúa el soplete a una altura deseada sobre una superficie de la placa. En un

ejemplo de la etapa (802), el CNC (760) sitúa el soplete (705) sobre la placa (715) y permite a un operador regular el soplete (705) para ponerlo a una altura deseada sobre la superficie (708). En la etapa (804), el proceso (800) mide la altura del soplete utilizando un dispositivo de medición montado frente al soplete. En un ejemplo de la etapa (804), el CNC (760) utiliza el dispositivo de medición (706) para medir la distancia de la altura (710) del soplete (705) sobre la superficie (708) a efectos de formar una medición de la altura de referencia.

Las etapas (806) y (814) representan los puntos inicial y final, respectivamente, de un bucle en el que "l" se itera desde 1 hasta el número de puntos de contorno XYZ, y las etapas (808) hasta (812) se repiten para cada valor de l. Por ejemplo, las etapas (808) hasta (812) se repiten treinta veces ($l=1, \dots, 30$) para los puntos de contorno XYZ (500).
 10 Dentro de las etapas (806) hasta (814), la altura del soplete (705) no es modificada por el CNC (760). Es decir, una vez ajustado a la altura deseada, el motor Z (700) no se utiliza para variar la altura del soplete (705) durante las etapas (806) hasta (814) del proceso (800).

En la etapa (808), el proceso (800) sitúa el soplete en la posición XY definida por el punto l-ésimo de los puntos de contorno XYZ. En un ejemplo de la etapa (808), en una primera interacción del bucle, "l" vale uno y el CNC (760) sitúa el soplete (705) en X_1, Y_1 definidos mediante los puntos de contorno XYZ (500)(1). En la etapa (810), el proceso (800) mide la altura del soplete sobre la superficie de la placa utilizando un dispositivo de medición montado con el soplete. En un ejemplo de la etapa (810), el dispositivo de medición (706), montado con el soplete (705), mide una distancia que es representativa de la altura del soplete (705) sobre la superficie (708) en la posición X_l, Y_l . En la etapa (812), el proceso (800) almacena la altura medida en asociación con la posición XY, como el punto de contorno XYZ. En el ejemplo de la etapa (812), el CNC (760) almacena la altura medida de la etapa (810) como un valor Z dentro de los puntos de contorno XYZ (500)(l).

Una vez que ha sido medida y almacenada la altura del soplete (705) en cada posición XY de los puntos de contorno XYZ (500), el proceso (800) avanza a la etapa (816). En la etapa (816), el proceso (800) genera un modelo de la superficie de la placa en base a los puntos de contorno XYZ. En un ejemplo de la etapa (816), el módulo de predicción de superficies (750) genera el modelo (751) representativo de la superficie (708) de la placa (715) en base a los puntos de contorno XYZ (500).

En la etapa (818), el proceso (800) recibe una posición XY. En el ejemplo de la etapa (818), el módulo de predicción de superficies (750) recibe X,Y (762) desde el CNC (760). En la etapa (820), el proceso (800) determina un valor Z, para la posición XY recibida, a partir de la superficie modelada de la placa y de una medición de la altura de referencia de la etapa (804). En un ejemplo de la etapa (820), el módulo de predicción de superficies (750) determina el valor Z (764) en base al modelo de superficie (751) y a la medición de la altura de referencia de la etapa (804). En la etapa (822), el proceso (800) entrega el valor Z determinado al motor que controla la altura del soplete. En un ejemplo de la etapa (822), el módulo de predicción de superficies (750) entrega el valor Z (764) al CNC (760), que lo envía, junto con los valores X, Y (762), al PLC (770), en el que son entregados al motor Z (700).

Si bien las realizaciones dadas a conocer ofrecen claramente ventajas sobre la técnica anterior, deberá entenderse que, no obstante, pueden incorporarse los sistemas de la técnica anterior, tal como el sistema de la figura 2. No para determinar la altura de corte, sino más bien como un sistema de "seguridad" o secundario. Más en particular, el material de placa de desecho puede desplazarse verticalmente como consecuencia de ser cortado, y la cantidad de movimiento vertical es imposible de predecir. Esto podría conducir a daños en la máquina si no es detectado por un operador oportunamente. Monitorizando la tensión, de acuerdo a la técnica anterior, la supervisión del operador puede ser menos importante, y los cambios extremos en la tensión pueden hacer que el soplete de corte se desplace (por ejemplo, hacia arriba) o se apague. Por ejemplo, si la tensión del arco ha caído por debajo de cierto valor definido, la máquina podría detenerse para impedir daños en el soplete. En la práctica, el movimiento del material de desecho es un problema menor cuando se está biselando, dado que el material a biselar tiende a ser relativamente grueso. En caso contrario, puede abandonarse el bucle de retroalimentación de control de altura/sensor tradicional con el fin de mantener una altura Z precisa, que es esencial en el corte de biseles multi-pase.

La figura 9 es un diagrama de flujo que muestra un método (900) de control predictivo de la altura de un soplete a modo de ejemplo, que regula automáticamente la altura de un soplete de corte montado en una grúa pórtico de una máquina de corte de control numérico, con respecto a una placa montada en un banco de corte de la máquina de corte de control numérico. Las etapas (902) y (904) pueden implementarse dentro del CNC (760) y las etapas (906) y (908) pueden implementarse dentro del módulo de predicción de superficies (750).

En la etapa (902), el método (900) sitúa, utilizando la grúa pórtico, el soplete de corte en cada uno de una serie de

puntos discretos XY sobre la placa, en un plano XY. En un ejemplo de la etapa (902), la grúa pórtico de la máquina NC (699) es situada en un primer punto XY (500)(1), figura 5, con el soplete (705), figura 7, situado a una altura deseada (710) sobre la superficie (708).

- 5 En la etapa (904), el método (900) mide, en cada uno de los puntos XY, una distancia entre el soplete de corte y una superficie superior de la placa utilizando un dispositivo de detección montado con el soplete de corte, la distancia medida estando a lo largo de un eje Z que es sustancialmente perpendicular al plano XY, para formar un conjunto de puntos de contorno XYZ. En un ejemplo de la etapa (904), el CNC (760) sitúa el soplete (705) en cada posición XY de los puntos de contorno XYZ (500) y, en cada posición XY, utiliza el dispositivo de medición (706) para medir una
- 10 distancia, a lo largo de un eje Z sustancialmente perpendicular al plano XY, desde el soplete (705) a la superficie (708), determinando de ese modo la altura (710).

- En la etapa (906), el método (900) genera, dentro de un módulo de predicción de superficies, un modelo de superficie basado en el conjunto de puntos de contorno XYZ. En un ejemplo de la etapa (906), el módulo de
- 15 predicción de superficies (750) genera el modelo de superficie (751) utilizando un algoritmo de superficie de Bezier y en base a los puntos de contorno XYZ (500).

- En la etapa (908), el método (900) controla la altura del soplete de corte durante el corte de la placa en base al modelo de superficie, de manera que el soplete de corte se mantiene a la altura deseada sobre la superficie
- 20 superior. En un ejemplo de la etapa (908), para cada posición XY (762) recibida desde el CNC (760), el módulo de predicción de superficies (750) obtiene un valor Z (764) a partir del modelo de superficie (751), y envía el valor Z (764) al motor Z (700) para controlar la posición vertical del soplete (705), de manera que el soplete (705) es situado a la altura (710) sobre la superficie (708) de la placa (715).

REIVINDICACIONES

1. Un método de control predictivo de la altura de un soplete para regular la altura de un soplete de corte montado en una grúa pórtico de una máquina de corte de control numérico, con respecto a una placa montada en un banco de corte de la máquina de corte de control numérico, que comprende las etapas de:
- 5 situar, utilizando la grúa pórtico, el soplete de corte en cada uno de una serie de puntos discretos XY sobre la placa, en un plano XY;
- 10 medir, en cada uno de los puntos XY, la distancia entre el soplete de corte y una superficie superior de la placa utilizando un dispositivo de detección montado con el soplete de corte, la distancia medida estando a lo largo de un eje Z que es sustancialmente perpendicular al plano XY, para formar un conjunto de puntos de contorno XYZ;
- 15 generar, dentro de un módulo de predicción de superficies, y antes de una etapa de corte de la placa, un modelo de superficie de la superficie superior de la placa en base al conjunto de puntos de contorno XYZ; y
- 20 controlar la altura del soplete de corte, durante el corte de la placa, en base al modelo de superficie, de manera que el soplete de corte se mantenga a una altura deseada sobre un valor de altura del eje Z predicho a partir del modelo de superficie de la superficie superior.
2. El método acorde con la reivindicación 1, comprendiendo la etapa de control controlar la altura del soplete de corte en base a los valores de altura del eje Z obtenidos a partir del modelo de superficie en cada una de una serie de posiciones XY sobre una trayectoria de corte del soplete de corte.
- 25 3. El método acorde con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que la etapa de controlar la altura compensa automáticamente la variación en la altura inducida mediante por lo menos uno de la grúa pórtico, la placa que está siendo cortada y el banco de corte.
4. El método acorde con cualquier reivindicación anterior, siendo el plano XY sustancialmente paralelo al
- 30 banco de corte.
5. El método acorde con cualquier reivindicación anterior, en el que la etapa de generación comprende modelizar matemáticamente el modelo de superficie utilizando interpolación no lineal de los puntos de contorno XYZ.
- 35 6. El método acorde con cualquier reivindicación anterior, en el que la etapa de corte se lleva a cabo con el soplete de corte situado en ángulo con respecto a un plano general de la pieza de trabajo.
7. El método acorde con cualquier reivindicación anterior, en el que la etapa de corte de la placa comprende controlar el soplete de corte para cortar la placa a lo largo de una trayectoria de corte que es
- 40 independiente de los puntos de contorno XYZ.
8. Una máquina de corte de control numérico con control predictivo de la altura de un soplete, que comprende:
- 45 un banco de corte para soportar una placa a cortar;
- una grúa pórtico para atravesar el banco de corte en un plano XY sustancialmente paralelo al banco de corte;
- un soplete de corte montado en la grúa pórtico y con un posicionamiento vertical en un eje Z que es sustancialmente
- 50 perpendicular al plano XY;
- un dispositivo de medición para medir, en una serie de puntos discretos en el plano XY, la distancia entre una superficie superior de la placa y una punta del soplete de corte;
- 55 un controlador para controlar la grúa pórtico de manera que desplace el soplete de corte a lo largo de una trayectoria de corte en el plano XY;
- un modelo de predicción de superficies para generar matemáticamente un modelo de superficie de la superficie superior en base a las distancias medidas en cada uno de la serie de puntos discretos, prediciendo asimismo el

modelo de predicción de superficies la altura de la punta del soplete de corte sobre la superficie superior de la placa a lo largo de la trayectoria de corte, en base al modelo de superficie de la superficie superior; y

5 un motor del eje z para regular la posición vertical del soplete de corte con respecto a la superficie superior, de manera que el soplete de corte se mantiene sustancialmente a una altura predicha sobre la superficie superior durante el corte de la placa a lo largo de la trayectoria de corte.

9. La máquina de corte de control numérico acorde con la reivindicación 8, estando la serie de puntos discretos en el plano XY separados de manera sustancialmente homogénea a través de la superficie superior.

10

10. La máquina de corte de control numérico acorde con la reivindicación 8 o la reivindicación 9, estando basado el modelo de superficie en una interpolación no lineal de la altura de la superficie entre la serie de puntos discretos en el plano XY.

15 11. La máquina de corte de control numérico acorde con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, estando el modelo de superficie generado matemáticamente como una superficie suave.

12. La máquina de corte de control numérico acorde con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11, en la que el soplete de corte está situado en ángulo con respecto al eje Z para crear un bisel.

20

13. La máquina de corte de control numérico acorde con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 12, que comprende además un aparato de monitorización de la tensión en comunicación con el controlador para impedir daños en el soplete de corte.

25 14. La máquina de corte de control numérico acorde con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 13, en la que la máquina está dispuesta de manera que la trayectoria de corte fijada por el controlador es independiente de la serie de puntos discretos generados mediante el modelo de predicción de superficies.

15. La máquina de corte de control numérico acorde con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 13, en la que el dispositivo de medición está montado con el soplete de corte en la grúa pórtico.

30

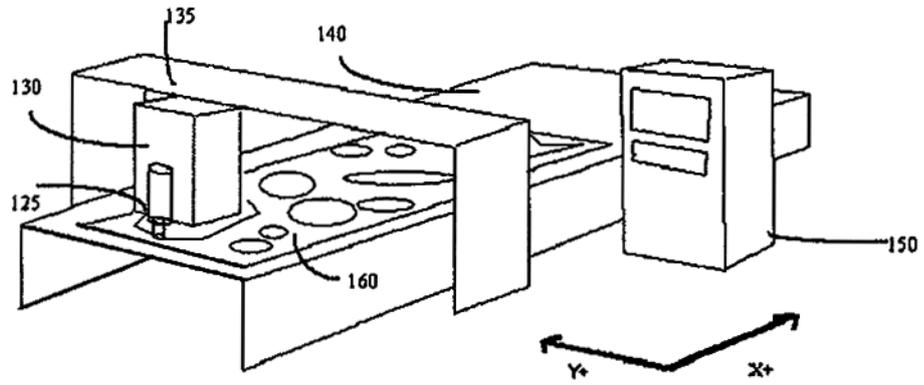


Figura 1 TÉCNICA ANTERIOR

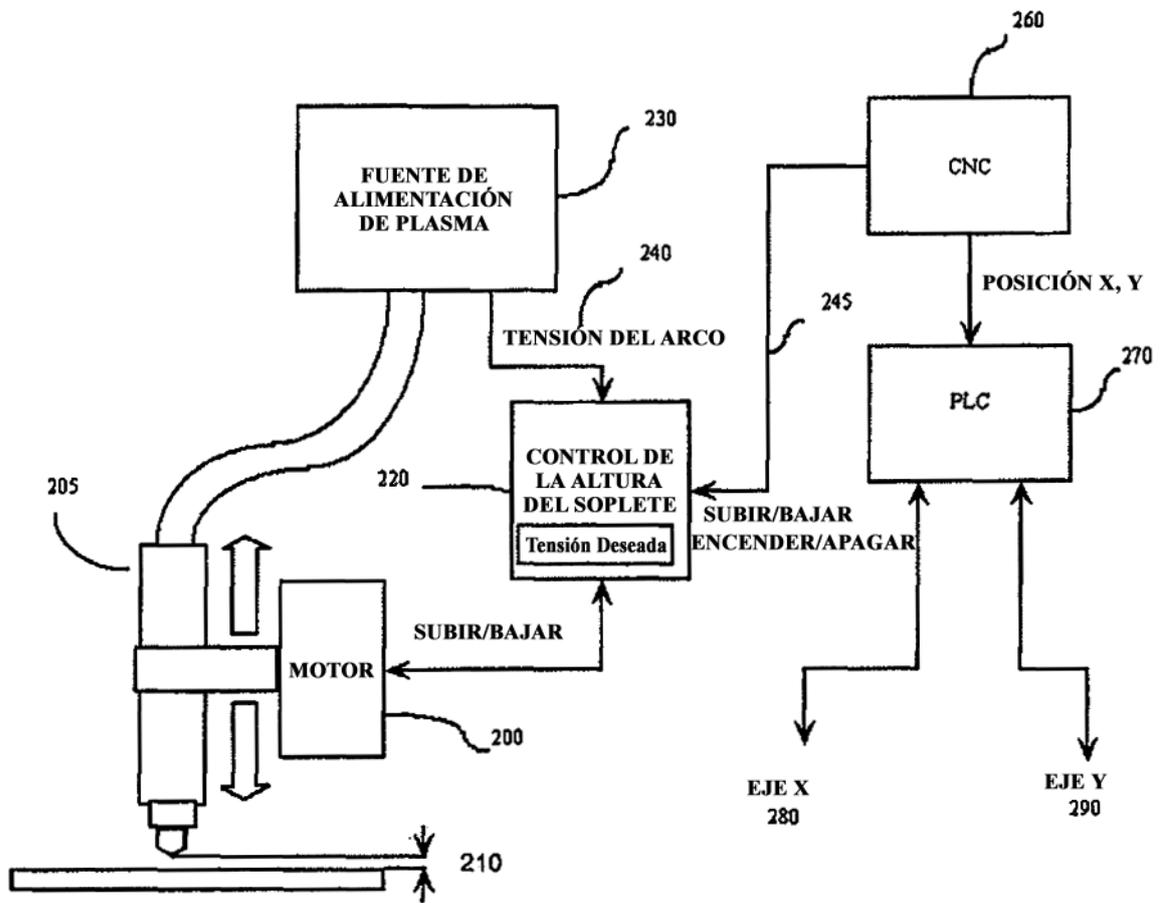


Figura 2 TÉCNICA ANTERIOR

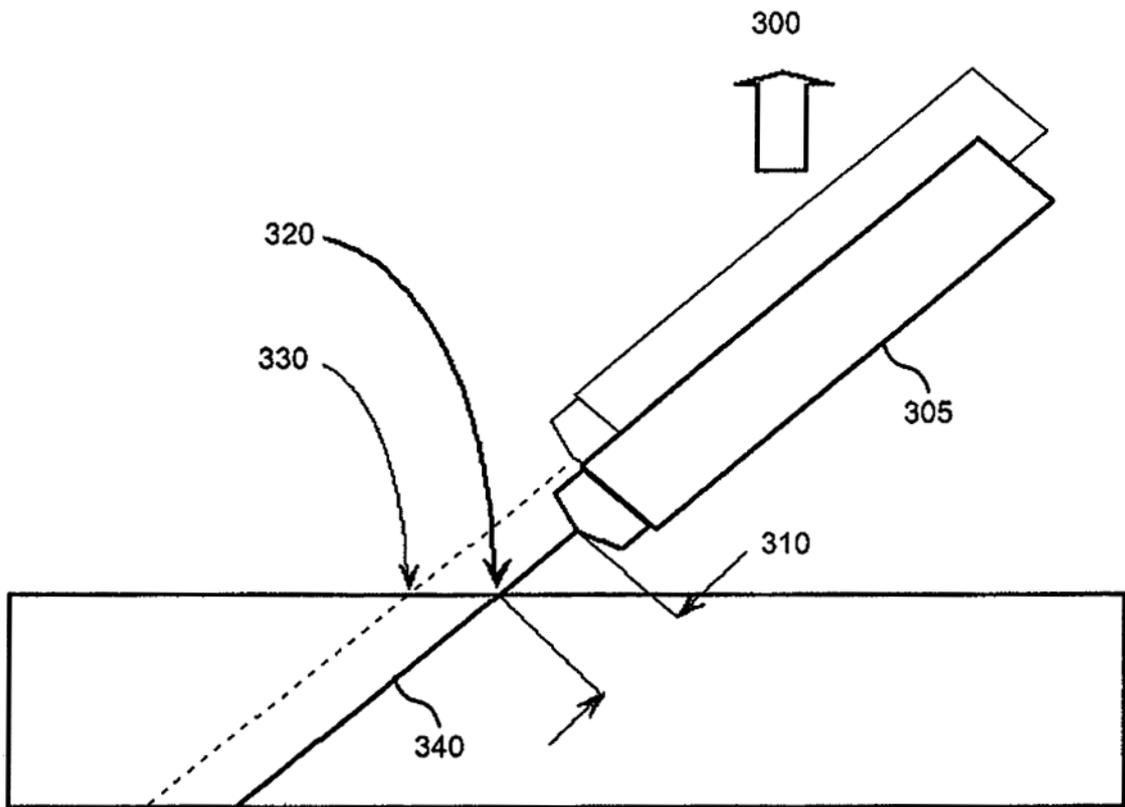


Figura 3 TÉCNICA ANTERIOR

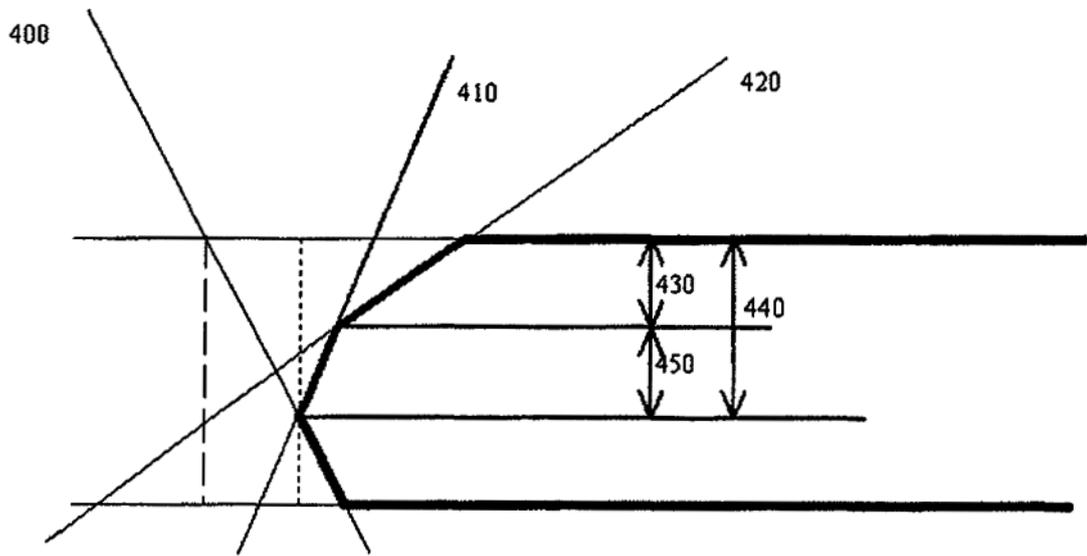


Figura 4

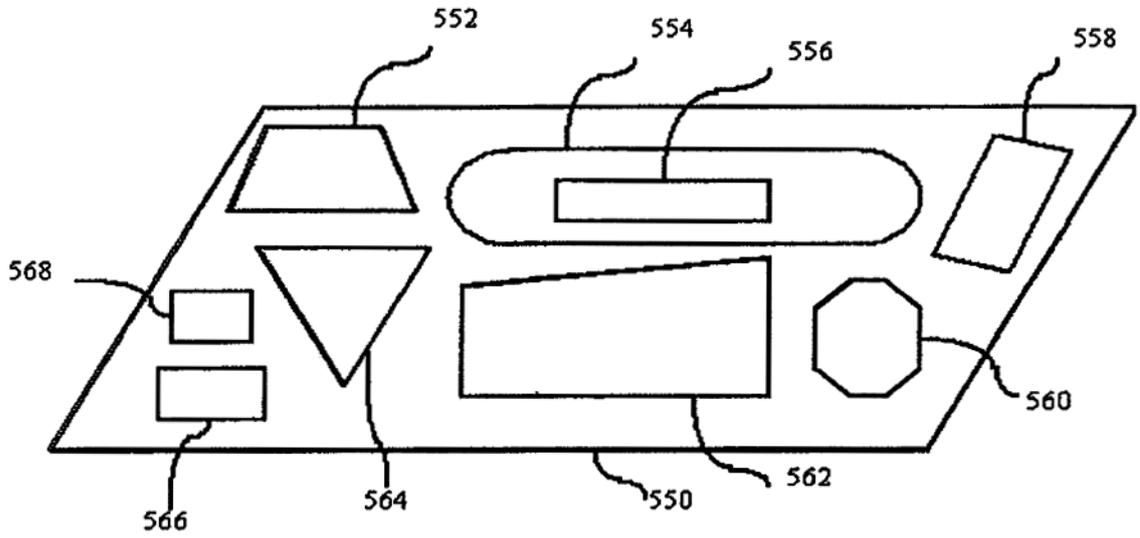


Figura 5a

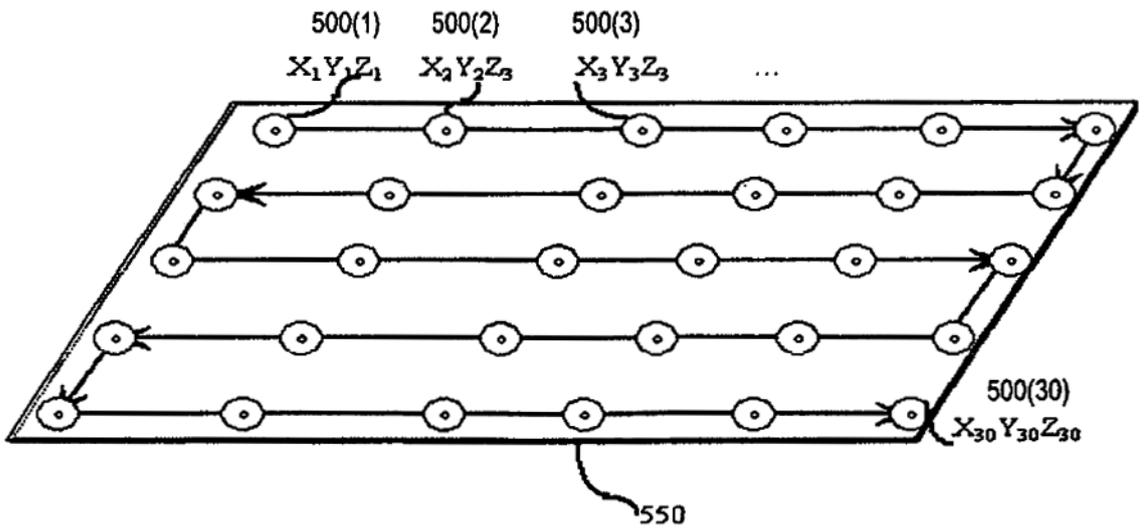


Figura 5b

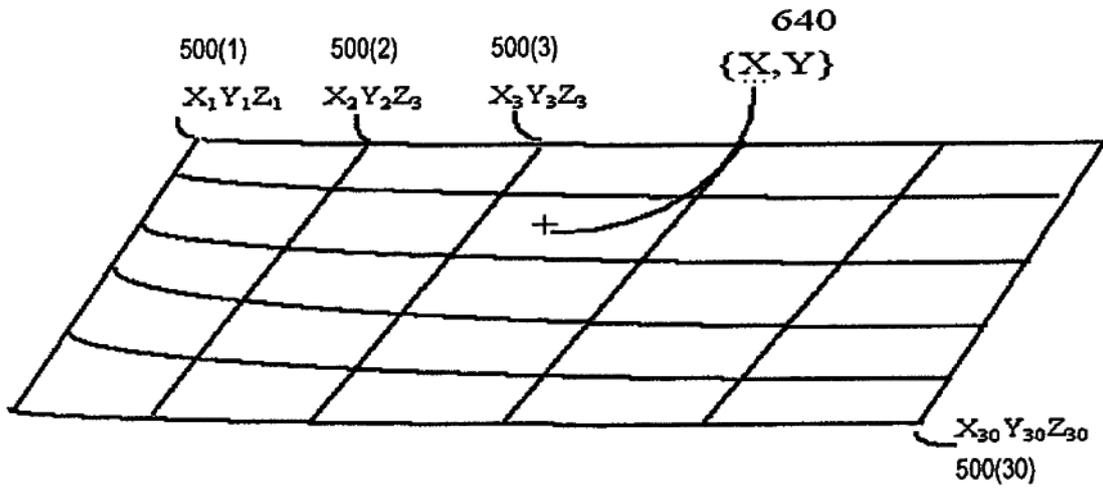


Figura 6

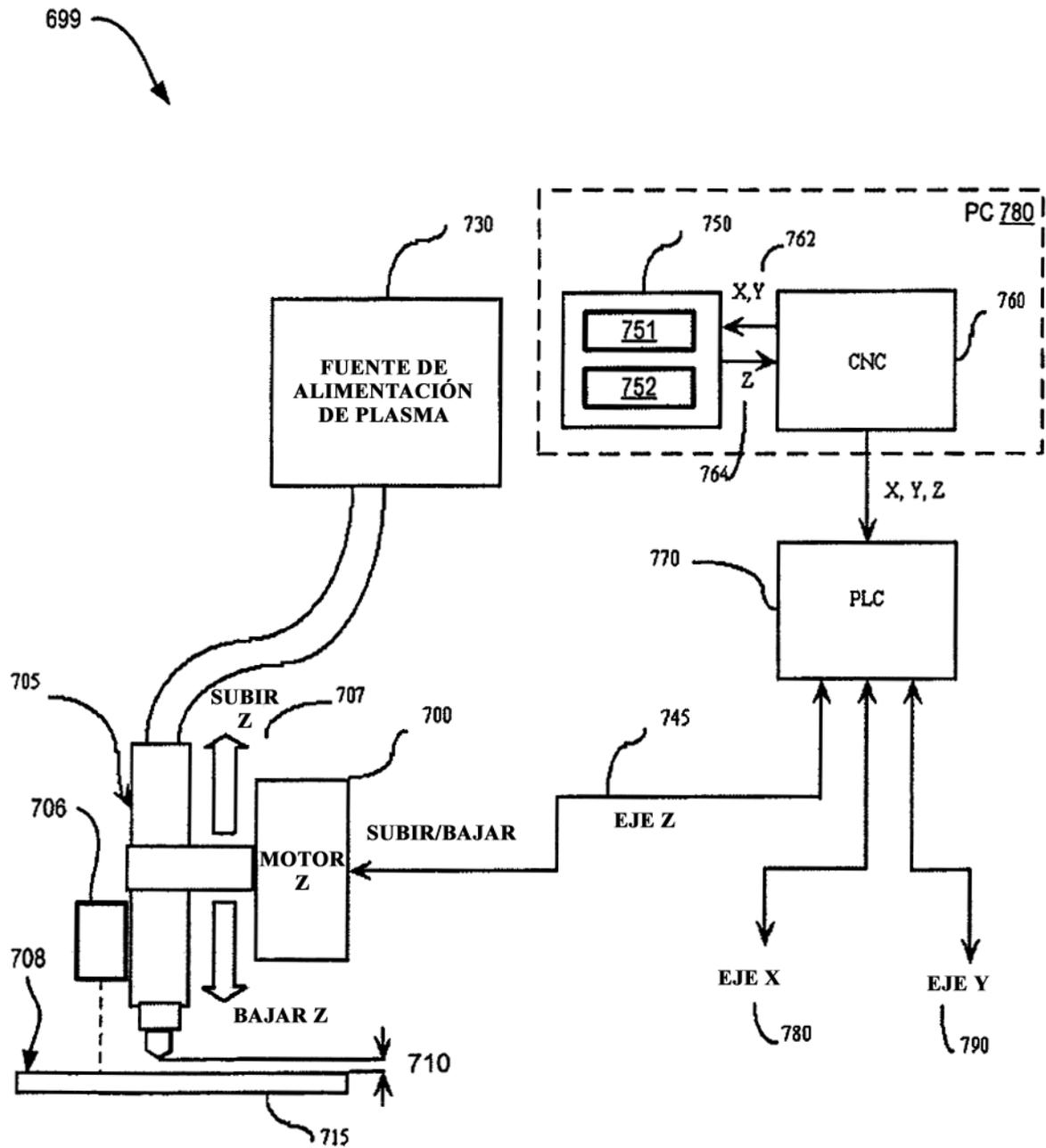


Figura 7

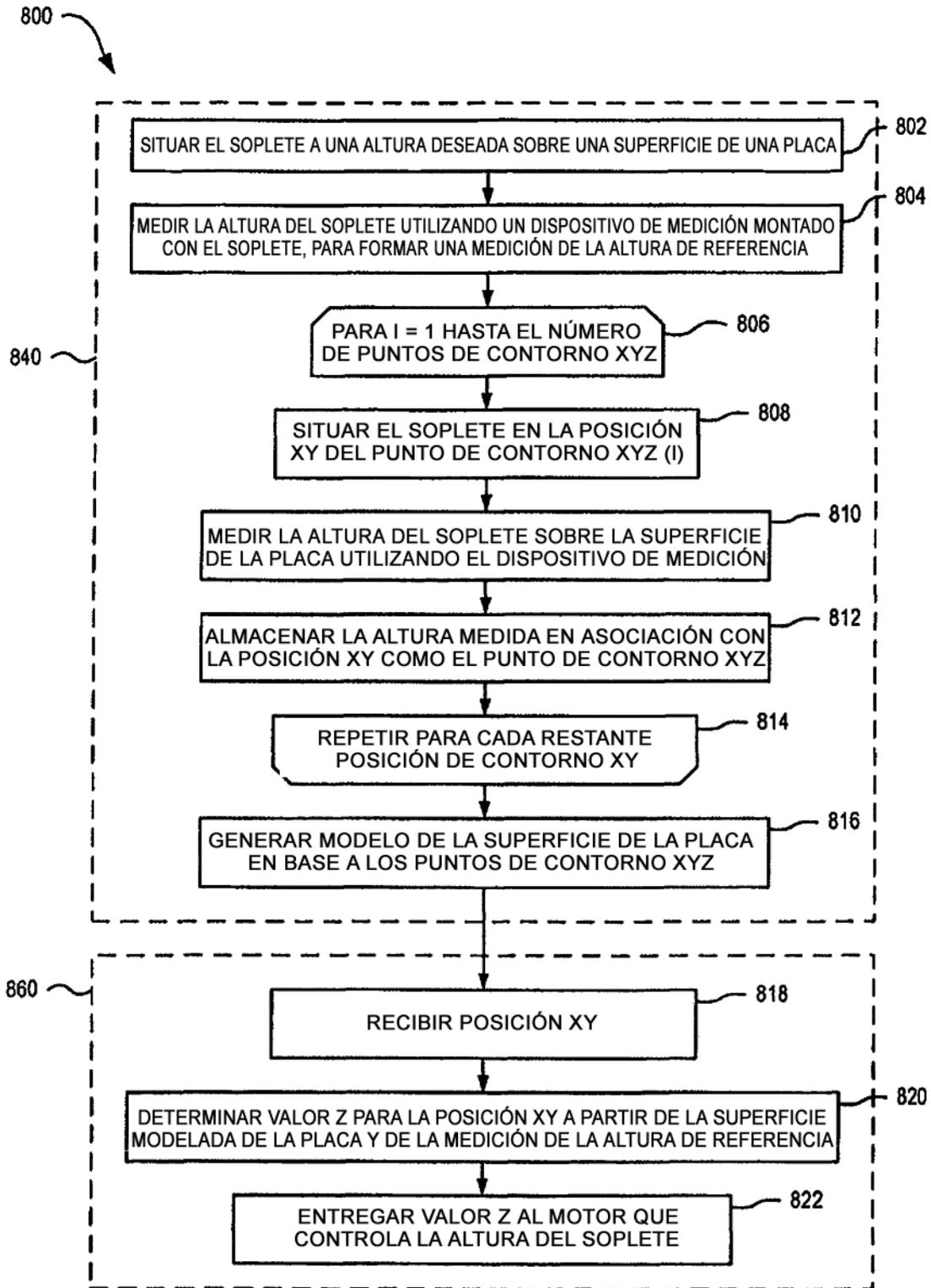


Figura 8

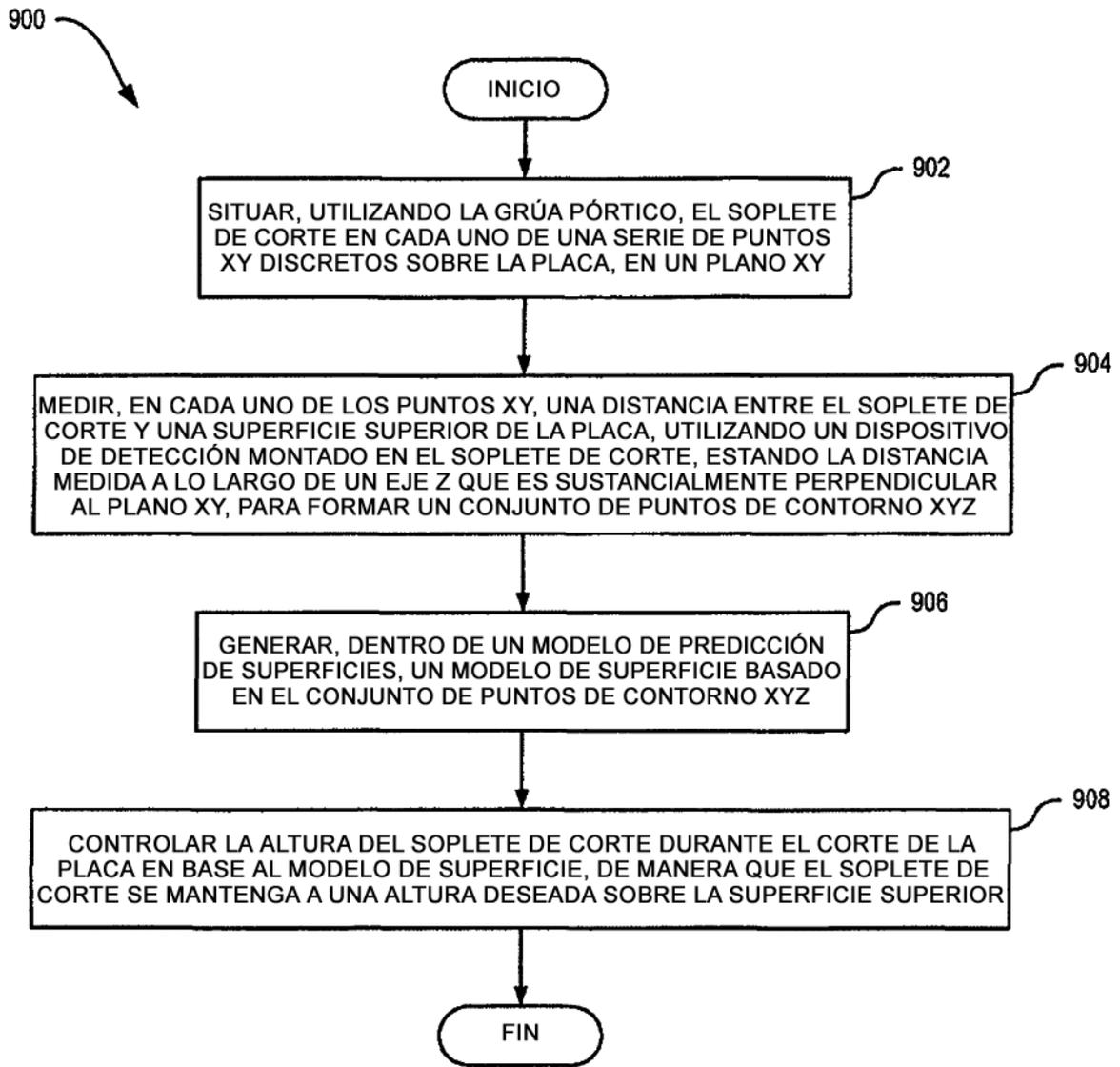


Figura 9