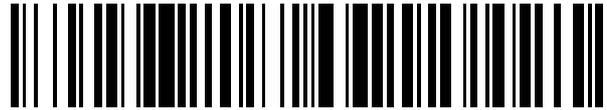


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 568 926**

51 Int. Cl.:

B26F 1/26 (2006.01)

B24C 1/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.02.2014 E 14155518 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.02.2016 EP 2769814**

54 Título: **Procedimiento para la perforación de al menos un orificio en una pieza de trabajo**

30 Prioridad:

21.02.2013 CH 4932013

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

05.05.2016

73 Titular/es:

**MICROWATERJET AG (100.0%)
Mittelstrasse 8
4912 Aarwangen, CH**

72 Inventor/es:

MAURER, WALTER

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 568 926 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

Procedimiento para la perforación de al menos un orificio en una pieza de trabajo

5 La presente invención hace referencia a un procedimiento para la perforación de al menos un orificio en una pieza de trabajo.

10 La perforación en una pieza de trabajo es difícil, entre otros, en este caso, cuando esta presenta una o varias cavidades o, en general, secciones de pares que están dispuestas de manera desplazada unas detrás de otras. De esta manera, la sección de pared trasera, vista en dirección de perforación, obstaculiza una perforación en la sección de pared delantera. Además, también hay que tomar medidas que evitan un deterioro de esta sección de pared cuando se realiza la penetración en la sección de pared delantera. Piezas de trabajo de este tipo difíciles de perforar existen, por ejemplo, en forma de álabes, en los cuales hay que colocar una pluralidad de orificios para la refrigeración.

15 Se conoce perforar orificios en piezas de trabajo de este tipo mediante láser o electroerosión ("Electrical Discharge Machining") (véase, por ejemplo, el documento US 7.041.933 B1). Estos procedimientos tienen el inconveniente de que la eliminación de material se realiza por evolución térmica, lo cual puede dar como resultado, entre otros, deterioros no deseados de capas sensibles. La electroerosión tiene la desventaja adicional de que solo puede utilizarse en piezas de trabajo conductoras.

20 Como alternativa, se conoce usar haces de mecanizado líquidos para la perforación. Este tipo de mecanizado tiene la ventaja de que no se produce calor durante la perforación y también pueden mecanizarse piezas de trabajo no conductoras. Por el documento EP 1 408 196 A2 se conoce introducir el cabezal de procesamiento, desde el cual sale el chorro de mecanizado durante la perforación, en una cavidad de la pieza de trabajo y perforar el orificio desde el interior hacia el exterior.

25 Este procedimiento tiene la desventaja de que solo es aplicable para geometrías especiales de piezas de trabajo y orificios. En este caso, una perforación no es especialmente posible cuando la cavidad no es accesible para el cabezal de procesamiento y/o la dirección de perforación está orientada, por ejemplo, perpendicularmente a la superficie de la pieza de trabajo.

30 Por el documento US 4.955.164 se conoce un procedimiento para la perforación de un orificio mediante chorro abrasivo, el cual actúa de manera permanente sobre la pieza de trabajo. Por eso, resulta difícil en este caso detener deliberadamente el efecto del chorro cuando atraviesa la pieza de trabajo.

35 En el documento WO 92/13679 A1 está descrito un procedimiento en el cual se usa un generador de ultrasonidos para formar burbujas de cavitación a partir de agua pura en un chorro de mecanizado. El procedimiento descrito no es adecuado para perforar orificios en una pieza de trabajo de manera que se eviten deterioros no deseados.

40 Es un objetivo de la presente invención indicar un procedimiento para la perforación de al menos un orificio en una pieza de trabajo con secciones de pared dispuestas unas detrás de otras mediante un chorro de mecanizado líquido, siendo aplicable el procedimiento para diversas geometrías de piezas de trabajo y evitando, en su mayor parte, deterioros de pared no deseados.

45 Un procedimiento que resuelve este objetivo está indicado en la reivindicación 1. Las otras reivindicaciones indican realizaciones preferentes del procedimiento, una instalación de mecanizado con la cual puede llevarse a cabo el procedimiento así como un programa informático y un soporte de datos.

50 En el procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, el orificio se perfora al menos parcialmente al impactar el chorro de mecanizado de manera pulsada sobre la sección de pared delantera.

55 Esto permite una perforación racional del orificio. Si la penetración se realiza mediante el chorro de mecanizado pulsado, la perforación puede terminarse a tiempo y pueden evitarse, en su mayor parte, deterioros de la sección de pared, la cual, vista en dirección de perforación, está dispuesta detrás de la sección de pared perforada. Además, es posible una dirección de perforación que señale desde el lado exterior de la pieza de trabajo hacia el interior, de manera que el procedimiento puede utilizarse para diversas geometrías de piezas de trabajo y direcciones de perforación.

60 De acuerdo con la invención, el orificio se genera de manera que se perfora al menos parcialmente por el uso de líquido y material abrasivo.

65 Para reducir aún más el riesgo de deterioros de pared, se utiliza preferentemente un medio de protección fluido para el llenado de la pieza de trabajo y/o medios de sensor para registrar el momento en el cual el chorro de mecanizado penetra la sección de pared delantera.

La invención se explica a continuación mediante los ejemplos de realización con referencia a las Figuras.

Muestran:

- 5 La Fig. 1 una vista en perspectiva de una instalación para la perforación de orificios;
- La Fig. 2 una vista detallada seccionada parcialmente de la Fig. 1;
- La Fig. 3 una vista detallada de la Fig. 2;
- 10 La Fig. 4 una variante de un equipo de alimentación para una instalación de acuerdo con la Fig. 1 en una vista frontal seccionada parcialmente;
- La Fig. 5 una pieza de ramificación utilizable en la instalación de acuerdo con la Fig. 1 en una vista lateral;
- 15 La Fig. 6 un ejemplo de un álabe como pieza de trabajo en sección transversal;
- La Fig. 7 el transcurso temporal de distintos parámetros de proceso así como distintas señales de medición de sensores que se utilizan en la instalación de acuerdo con la Fig. 1; y
- 20 La Fig. 8 un ejemplo de un desarrollo de procedimiento para la perforación de orificios.

La Fig. 1 muestra una instalación para el mecanizado de una pieza de trabajo con un dispositivo de mecanizado 1, un dispositivo de mando 2, un armario de distribución 3 y un dispositivo de bombeo 4.

25 El dispositivo de mecanizado 1 comprende un cabezal de mecanizado 10, desde el cual sale un chorro de mecanizado durante el funcionamiento, y un equipo de retención 11 para la retención de una pieza de trabajo 12. En el presente ejemplo de realización, el dispositivo de mecanizado 1 está configurado para generar un chorro de mecanizado a partir de un líquido con o sin material abrasivo. Como líquido es adecuada, por ejemplo, agua; el material abrasivo es, por ejemplo, arena. También son posibles otros medios para el líquido, por ejemplo, aceite. Además, es concebible añadir al líquido uno o varios aditivos, por ejemplo, polímeros, para mejorar la eficacia del chorro de mecanizado.

35 El dispositivo de mecanizado 1 presenta, además, una cuenca 1b delimitada por paredes 1a, en la cual está dispuesto el equipo de retención 11 con la pieza de trabajo 12 y en la cual sobresale el cabezal de mecanizado 10.

40 El dispositivo de mando 2 comprende aparatos para la salida y/o entrada de informaciones, por ejemplo, teclado, monitor y/o dispositivo apuntador. El armario de distribución 3 comprende el control, el cual contiene medios para el procesamiento de datos y para la generación de señales de control para el funcionamiento del dispositivo de mecanizado 1. El control está equipado con un programa en cuya realización puede llevarse a cabo el procedimiento descrito más adelante para la perforación de orificios en la pieza de trabajo 12. El control está conformado, por ejemplo, en forma de un control numérico computarizado (CNC).

45 El dispositivo de bombeo 4 está configurado para conducir el líquido, por ejemplo, agua u otro medio, a alta presión hacia el cabezal de mecanizado 10.

50 El cabezal de mecanizado 10 es móvil en varios ejes; en el presente ejemplo de realización, estos son 5 ejes. A tal fin, el cabezal de mecanizado 10 comprende un puente 13 desplazable en el eje Y en el cual está dispuesto un soporte 15. Para el desplazamiento del puente 13 sirven, por ejemplo, raíles 14, los cuales están dispuestos sobre las paredes 1a. El soporte 15 soporta el cabezal de mecanizado 10 y es desplazable en el eje X y, por lo tanto, transversalmente al eje Y a lo largo del puente 13.

55 Como muestra la vista detallada en la Fig. 2, el cabezal de mecanizado 10 está retenido en el soporte de manera que es desplazable en el eje Z y, por lo tanto, transversalmente al eje X. Además, el cabezal de mecanizado 10 está colocado de manera rotatoria alrededor de dos ejes de rotación B y C. El eje de rotación C discurre, en este caso, en dirección del eje Z. Los dos ejes B y C están dispuestos entre sí en un ángulo. El ángulo está adaptado a la finalidad de aplicación de la instalación y puede encontrarse en el intervalo de 45 a 90 grados. Un equipo de accionamiento 17 dispuesto en el soporte 15 sirve para el movimiento del cabezal de mecanizado 10 en el eje Z, B y C. El equipo de accionamiento 17 presenta un cabezal de rotación 17a rotatorio alrededor del eje C con un extremo realizado oblicuamente. Este comprende una pieza de rotación 17b rotatoria alrededor del eje B, en la cual está retenido el cabezal de mecanizado 10.

60 En el soporte 15 están dispuestos, además, un equipo de alimentación 40 para la adición de material abrasivo así como un equipo de medición 19.

65

El equipo de medición 19 sirve para la medición de la pieza de trabajo 12 y contiene, por ejemplo, un láser de medición. El equipo de medición 19 comprende un cabezal de medición 19a, el cual, en este caso, está dispuesto en el soporte 15 de manera que es desplazable a lo largo de un eje Z1 paralelo al eje Z así como rotatorio alrededor de un eje de rotación A dispuesto transversalmente a este.

Antes del procesamiento, puede estar indefinida aún la posición exacta de la superficie de la pieza de trabajo, por ejemplo, por el tipo de producción de la pieza de trabajo 12, por ejemplo, si está fabricada como pieza de fundición, y/o por la sujeción. Mediante el equipo de medición 19 pueden registrarse los contornos de la pieza de trabajo 12, de manera que el cabezal de mecanizado 10 puede posicionarse de manera precisa respecto a la superficie de la pieza de trabajo y los orificios pueden perforarse en las posiciones deseadas en la pieza de trabajo 12.

El equipo de retención 11 comprende, en este caso, un mandril 21 en el cual está sujeta una pieza de adaptación 22 para la retención de la pieza de trabajo 12. El equipo de retención 11 presenta un eje de rotación D, alrededor del cual la pieza de trabajo 12 es rotatoria.

En este caso, la instalación está diseñada especialmente para la perforación de orificios en la pieza de trabajo 12, la cual presenta una o varias cavidades o, en general, secciones de pared que están dispuestas de manera desplazada unas detrás de otras. El equipo de retención 11 comprende una conexión 26 para el vertido de un líquido como medio de protección, con el cual debería llenarse la pieza de trabajo 12 durante el mecanizado. Preferentemente, se utiliza el mismo líquido, por ejemplo, agua, para el chorro de mecanizado y para el medio de protección. Para el sellado, el extremo libre de la pieza de trabajo 12 está provisto de una brida 27 que presenta juntas adecuadas. Están previstos medios de válvula 28, por ejemplo, en la brida 27, los cuales permiten una ventilación de la pieza de trabajo 12 cuando esta se llena con el medio de protección. Además, los medios de válvula 28 pueden estar diseñados de manera que el medio de protección pueda escapar de la pieza de trabajo 12 cuando la presión p del medio de protección sobrepasa un umbral determinado. A tal fin, los medios de válvula 28 comprenden una válvula de alivio de presión.

Para la supervisión del proceso, están previstos medios de sensor 7, 8, 9. Estos están diseñados de manera que puede detectarse especialmente el momento cuando el chorro de mecanizado penetra la pared de la pieza de trabajo 12.

En este caso, como medios de sensor sirven, entre otros, un sensor de presión 7 para la medición de la presión p, el cual presenta el medio de protección en la pieza de trabajo 12, así como un transductor acústico 9, mediante el cual puede registrarse el sonido que se propaga en el medio de protección líquido. Si se usa agua como medio de protección, el transductor acústico 9 está conformado, por ejemplo, en forma de un hidrófono. Los sensores 7 y 9 se encuentran, de acuerdo con la Fig. 2, en la pieza de adaptación 22. Sin embargo, también pueden estar dispuestos en otras posiciones para medir presión y sonido. Por el diseño adecuado de los medios de válvula 28, el transductor acústico 9 puede protegerse de una carga de presión excesiva durante el funcionamiento.

Los medios de sensor presentan, además, un sensor 8 que se encuentra por fuera de la pieza de trabajo 12, por ejemplo, como se muestra en la Fig. 2, en el equipo de retención 11. No obstante, también puede estar dispuesto en otra posición del dispositivo de mecanizado 1.

Durante el mecanizado, se produce sonido propagado por estructuras sólidas en los elementos de máquina, que da como resultado vibraciones. Por eso, como sensor 8 es adecuado, por ejemplo, un sensor de sonido propagado por estructuras sólidas. Puesto que el chorro de mecanizado sale a gran velocidad del cabezal de mecanizado 10, se genera asimismo sonido medible que se propaga en el aire. Por eso, también es posible utilizar, de manera alternativa o complementaria, un micrófono como sensor 8.

Si el chorro de mecanizado penetra la pared de la pieza de trabajo 12 durante la perforación, se modifican de manera perceptible las señales de medición suministradas por los medios de sensor 7, 8, 9 (cf. la explicación de la Fig. 7 abajo mencionada).

Como también se muestra en la Fig. 3, en el extremo del lado de entrada del cabezal de mecanizado 10 se encuentra una válvula de alta presión 31 para la conexión y desconexión del chorro de mecanizado. Esta presenta una entrada 32, en la cual el dispositivo de bombeo 4 vierte el líquido a alta presión por una tubería de alta presión (no representada). Para la conexión de la válvula de alta presión 31 sirve un equipo accionador 33 montado en esta.

En este caso, el cabezal de mecanizado 10 está colocado de manera rotatoria. El acoplamiento de la tubería de alta presión en la entrada 32 se realiza por componentes habituales, como espirales de tuberías de alta presión y articulaciones rotatorias, las cuales posibilitan el giro del cabezal de mecanizado 10 relativo al dispositivo de bombeo 4 estacionario.

Para la formación del chorro de mecanizado, el cabezal de mecanizado 10 presenta, además, un tubo de colimación 35 que sirve para la conducción y estabilización de flujo del líquido vertido y que está unido al tubo de enfoque 37 por una pieza intermedia 36. En la pieza intermedia 36 se encuentra una tobera para la transformación

de la energía de presión en energía cinética así como una cámara de mezcla, en la cual desemboca una tubuladura de entrada 38 para la alimentación de material abrasivo. El tubo de enfoque 37 sirve para la aceleración del material abrasivo así como para la alineación y concentración del líquido o de la mezcla de líquido/abrasivo.

5 En la Fig. 3 es evidente, además, el equipo de alimentación 40. Comprende un recipiente 41 para el almacenamiento del material abrasivo y un equipo de dosificación 42 con una salida de alimentación 42a, la cual está unida a la tubuladura de entrada 38 en la pieza intermedia 36 por una tubería 43.

10 El equipo de dosificación 42 está configurado de manera que la cantidad Q_A de material abrasivo (por ejemplo, en unidades de gramos por minuto), la cual sale de la salida de alimentación 42a, puede ajustarse de manera controlada. En este caso, el equipo de dosificación 42 está diseñado de manera que puede conmutarse en poco tiempo t_U entre los dos estados, Q_A igual a cero y Q_A mayor que cero. Especialmente, el equipo de dosificación 42 está configurado de manera que, en el estado $Q_A > 0$, el material abrasivo sale con Q_A constante de la salida de alimentación 42a. Típicamente, el tiempo de conmutación t_U se encuentra en el intervalo de 10 a 200 milisegundos, preferentemente en el intervalo de 20 a 100 milisegundos.

15 En el presente ejemplo de realización, el equipo de dosificación 42 comprende una cinta transportadora 48 representada con líneas de trazos en la Fig. 3, la cual es giratoria y accionable, una entrada 45, la cual está delimitada preferentemente por paredes que se estrechan, y una pieza deslizante 46, la cual presenta dos canales 46a y 46b representados con líneas de trazos en la Fig. 3 así como un desagüe 42b. Además, el equipo de dosificación 42 contiene un medio de medición 49, el cual está diseñado para la determinación de la cantidad Q_A . El medio de medición 49 sirve como báscula y comprende, a tal fin, por ejemplo, una galga extensiométrica. Esta discurre oblicuamente, de manera que el material abrasivo, el cual se cae de la cinta transportadora 48, puede seguir cayendo hacia abajo a la pieza deslizante 46. A este respecto, la galga extensiométrica se deforma dependiendo de la cantidad de material abrasivo que cae sobre esta y suministra una señal de medición correspondiente.

20 La pieza deslizante 46 es desplazable de un lado a otro relativamente a la entrada 45 entre dos posiciones de desplazamiento, como está indicado por la flecha 47. El desplazamiento de la pieza deslizante 46 se realiza, por ejemplo, mediante accionamiento eléctrico o aire comprimido.

25 En la una posición de desplazamiento de la pieza deslizante 46, el canal 46a que lleva a la salida de alimentación 42a está unido a la entrada 45. Durante el funcionamiento, el material abrasivo transportado por la cinta transportadora 48 cae por la gravitación a la entrada 45, donde llega al cabezal de mecanizado 10 por la tubería 43 y finalmente se añade al líquido. En la otra posición de desplazamiento de la pieza deslizante 46, el canal 46b que lleva al desagüe 42b está unido a la entrada 45, de manera que el material abrasivo entregado llega hacia fuera por el desagüe 42b y cae en la cuenca 1b. Por consiguiente, el canal 46b actúa como canal de derivación. Opcionalmente, el desagüe 42b puede estar unido a una tubería para conducir el material abrasivo a un depósito.

30 Como alternativa a un movimiento traslacional de la pieza deslizante 46, también es concebible diseñar el equipo de dosificación 42 de manera que la pieza deslizante 46 sea rotatoria hacia delante y hacia atrás entre dos posiciones relativamente al recipiente 41.

35 El uso de la pieza deslizante 46 móvil tiene la ventaja de que puede conmutarse de un lado a otro entre las dos posiciones en poco tiempo t_U y que la cinta transportadora 48 permanece permanentemente en funcionamiento, de manera que se evitan fluctuaciones en la Q_A y se transporta material abrasivo, el cual debería añadirse al líquido, de la forma más uniforme posible al cabezal de mecanizado 10 por la tubería 43.

40 En una forma de realización más sencilla, la pieza deslizante 46 también puede estar omitida junto con el desagüe 42b, de manera que, por ejemplo, para la detención de la cinta transportadora 48, se interrumpe la alimentación de material abrasivo al cabezal de mecanizado 10.

45 También son concebibles otras formas de realización del equipo de dosificación 42 para autorizar y para interrumpir facultativamente la alimentación de material abrasivo.

50 El equipo de dosificación 42 puede comprender, por ejemplo, un equipo que posibilite un transporte volumétrico y ajustable del material abrasivo. A tal fin, está prevista, por ejemplo, una pieza rotatoria accionable que conduzca material abrasivo por un canal en la rotación. También es concebible aspirar y/o reconducir material abrasivo mediante presión negativa.

55 La Fig. 4 muestra una variante de un equipo de alimentación 40', en el cual, en lugar de la pieza deslizante 46 de la Fig. 3, está prevista una pieza de cruce 50 con un canal 51 que se cruza por un canal de aire 52. Los dos extremos del canal de aire 52 están conectados a tuberías 53a, 53b para generar una presión negativa en el desagüe 42b si es necesario.

60

65

En el estado de la añadidura, el material abrasivo llega desde la entrada 45 por el canal 51 a la entrada de alimentación 42a y después al cabezal de mecanizado 10 por la tubería 43. Si debiera interrumpirse la añadidura, se genera una presión negativa en el canal de aire 52, de manera que el material abrasivo ya no se conduce a la entrada de alimentación 42a, sino por el extremo inferior del canal de aire 52 hacia el desagüe 42b y después se aspira por la tubería 53b. Por consiguiente, el canal de aire 52 actúa como canal de derivación.

Opcionalmente, se toman medidas para evitar que el equipo de dosificación 42 se obstruya cuando se produce una acumulación de líquido desde el cabezal de mecanizado 10 en la tubería 43 y, a este respecto, se humedece el material abrasivo.

La Fig. 5 muestra una pieza de ramificación 60, la cual sirve para el impedimento de una obstrucción de este tipo y se instala, por ejemplo, en la tubería 43. La pieza de ramificación 60 presenta un canal 61 con entrada 61a, el cual desemboca en un canal auxiliar 62 que presenta una entrada 62a y una salida 62b. La entrada 61a está unida, por ejemplo, a la entrada de alimentación 42a del equipo de dosificación 42. La salida 62b está unida al cabezal de mecanizado 10. A la entrada 62a se conecta una tubería para la alimentación de un gas de proceso, por ejemplo, aire. En el canal auxiliar 62 desemboca una salida auxiliar 62c. La presión del gas de proceso está ajustada de manera que, durante el funcionamiento, se alimenta más gas de proceso por la entrada 62a que se deriva en la salida 62b. Por lo tanto, una parte del gas de proceso fluye de la salida auxiliar 62c.

El gas de proceso alimentado por la entrada 62a puede estar procesado para favorecer el mecanizado. Por ejemplo, el gas de proceso está procesado de manera que presenta una humedad lo más baja posible y, de esta manera, se previene una obstrucción por material abrasivo.

Además, en el canal auxiliar 62 está dispuesto un sensor 63, mediante el cual puede detectarse líquido que se acumula desde el cabezal de mecanizado 10. El sensor 63 está conformado, por ejemplo, como sensor capacitivo.

En el funcionamiento normal, el material abrasivo llega desde el equipo de alimentación 40 por la entrada 61a y los canales 61 y 62 a la salida 62b y después al cabezal de mecanizado 10. Si se produce ahora una acumulación, el líquido llega por la salida 62b en el canal auxiliar 62, donde se detecta por el sensor 63. En este caso, se interrumpe el funcionamiento de la instalación y el usuario puede eliminar la causa de la acumulación.

A continuación, se describe un procedimiento para la perforación de orificios en una pieza de trabajo.

La pieza de trabajo 12 que va a mecanizarse presenta al menos dos secciones de pared que están dispuestas alejadas y unas detrás de otras, visto en dirección de perforación. Si se perfora un orificio en la primera sección de pared, la segunda sección de pared se encuentra detrás de la primera sección de pared, visto en dirección de perforación. Si el chorro de mecanizado penetra la primera sección de pared, hay que evitar, por regla general, que el chorro impacte sobre la segunda sección de pared y, de esta manera, la deteriore.

La Fig. 6 muestra un ejemplo de una pieza de trabajo 12 fabricada con varias cavidades 12a que están unidas a la superficie exterior por orificios 12b, 12c, 12d perforados. En este caso, la pieza de trabajo 12 es un álabe, el cual debería poder utilizarse para elevadas temperaturas de funcionamiento. Por la previsión de los orificios 12b, 12c, 12d, puede soplarse aire a alta presión para refrigerar de esta manera el álabe. Como es evidente, los orificios pueden desembocar muy cerca de las secciones de pared interiores (cf. los orificios 12b), de manera que, en este caso, existe especialmente el riesgo de un deterioro. Además, los orificios pueden tener una forma que no sea cilíndrica circular (cf., por ejemplo, los orificios 12c, los cuales presentan un extremo que se ensancha hacia la superficie exterior) y/o tener una gran longitud (cf. orificio 12d).

En el procedimiento descrito a continuación, los orificios que van a perforarse pueden estar conformados, por ejemplo, como se muestra en la Fig. 6.

Para la perforación, la instalación se acciona de manera que el chorro de mecanizado actúa sobre la pieza de trabajo facultativamente de manera continua (en lo sucesivo, denominado "modo continuo") o de manera pulsada (en lo sucesivo, denominado "modo pulsado"). En el modo continuo, el chorro de mecanizado sale permanentemente del cabezal de mecanizado 10 a la pieza de trabajo 12, añadiéndose continuamente material abrasivo al chorro de mecanizado. Por consiguiente, sobre la pieza de trabajo 12 actúa ininterrumpidamente un chorro de líquido abrasivo. En el modo pulsado, o bien se interrumpe de manera recurrente la añadidura del material abrasivo, de manera que solo un chorro de mecanizado de líquido puro alcanza la pieza de trabajo, o bien se interrumpe de manera recurrente el impacto de todo el chorro de mecanizado sobre la pieza de trabajo.

La Fig. 7 muestra un ejemplo del transcurso temporal de los siguientes parámetros:

- T (por ejemplo, en unidades de milímetros):

profundidad de orificio que aún no se ha perforado; al principio, T corresponde a la longitud total L del orificio que va a perforarse; en la penetración, $T = 0$,

- Q (por ejemplo, en unidades de litros por minuto):

flujo volumétrico del líquido que sale del cabezal de mecanizado 10,

- 5 - Q_A (por ejemplo, en unidades de gramos por minuto):

cantidad de material abrasivo que sale del cabezal de mecanizado 10 por unidad de tiempo,

- 10 - U_1 (por ejemplo, en unidades de voltios o amperios):

corresponde a la señal de sensor suministrada por el sensor 8 para el sonido propagado por estructuras sólidas medido,

- 15 - U_2 (por ejemplo, en unidades de voltios o amperios):

corresponde a la señal de sensor suministrada por el sensor 7 para el sonido en el medio de protección líquido,

- 20 - U_3 (por ejemplo, en unidades de voltios o amperios):

corresponde a la señal de sensor suministrada por el sensor 9 para la presión del medio de protección líquido.

25 Sobre el respectivo eje temporal t están marcados distintos momentos $t_0, t_1, t_2, \dots, t_{24}$. La Fig. 7 no muestra todo el transcurso, sino que el eje temporal está representado de manera interrumpida entre t_8 y t_9 . En este intervalo de tiempo, el respectivo transcurso es similar, por ejemplo, a los intervalos de tiempo anteriores o posteriores.

30 El proceso de perforación empieza en el momento t_0 . A este respecto, el mecanizado se realiza, en el ejemplo mostrado, primero en el modo continuo hasta que la profundidad perforada ha alcanzado un porcentaje determinado de la longitud total L del orificio que va a perforarse. Después, el mecanizado continúa en el modo pulsado. Esto es el caso en el ejemplo de acuerdo con la Fig. 7 a partir del momento t_4 . Según el tamaño de L , el mecanizado también puede realizarse de manera que la longitud total L se perfora en el modo pulsado. Esto es típicamente el caso de una longitud total L que ascienda como máximo a 2 mm, preferentemente como máximo a 1 mm y/o ascienda como mínimo a 8 mm, preferentemente como mínimo a 10 mm. En el intervalo intermedio, donde L se encuentra entre 1 mm y 10 mm, preferentemente entre 2 mm y 8 mm, el mecanizado puede realizarse de manera que se perfora un porcentaje de la longitud total L en el modo continuo y un porcentaje de la longitud total L en el modo pulsado.

40 También dentro del modo continuo es concebible que se interrumpa la alimentación de material abrasivo. De esta manera, según la profundidad del orificio que va a perforarse, puede ocurrir, por ejemplo, que se acumule material abrasivo en el extremo de perforación que se forma, que se impulsa por el chorro de mecanizado. Esto puede actuar como amortiguación, de manera que el chorro de mecanizado impacta sobre la pieza de trabajo con energía reducida. Para transportar este material abrasivo acumulado del extremo de perforación, es posible interrumpir la alimentación de material abrasivo una o varias veces durante el modo continuo, de manera que el orificio perforado hasta ahí se lave con líquido puro. En la Fig. 7 está representada a modo de ejemplo esta interrupción en la curva Q_A en el intervalo de tiempo t_2 a t_3 .

50 En el modo pulsado, se desactiva temporalmente todo el chorro de mecanizado o únicamente la alimentación de material abrasivo. Lo último (como se ha explicado anteriormente) puede ser necesario para lavar material abrasivo acumulado del orificio de perforación. En el ejemplo de acuerdo con la Fig. 7, puede verse la interrupción de la alimentación de material abrasivo en el intervalo de tiempo t_{10} a t_{13} .

55 El modo pulsado durante la perforación está diseñado de manera que el ancho de pulso (por ejemplo, intervalo de t_{12} a t_{13}) es menor que el intervalo temporal entre los pulsos (por ejemplo, intervalo de t_{13} a t_{14}). Típicamente, la longitud temporal de los pulsos se encuentra en el intervalo de 80 a 200 milisegundos, mientras que la longitud temporal de la interrupción entre los pulsos se encuentra en el intervalo de 50 a 120 milisegundos.

60 Si el chorro de mecanizado penetra ahora la pared de la pieza de trabajo, se modifican de manera perceptible las señales de medición suministradas por los medios de sensor 7, 8, 9. En el ejemplo de acuerdo con la Fig. 7, esto es el caso poco después del momento t_{17} , donde la respectiva señal U_1, U_2, U_3 desciende o aumenta considerablemente. En este caso, se interrumpe el mecanizado y el orificio aún se mecaniza a continuación con un cierto número predeterminado de pulsos del chorro de mecanizado. En el ejemplo de acuerdo con la Fig. 7, son 3 pulsos. Según la finalidad de aplicación, pueden ser menos o más. Por estos pulsos posteriores, está asegurado que la abertura de salida del orificio se amplía al diámetro final deseado. Preferentemente, la longitud de los pulsos individuales está seleccionada menor en el modelado que la longitud de los pulsos antes de la penetración. En la Fig. 7, esto quiere decir, por ejemplo, que el intervalo temporal t_{13} a t_{14} es preferentemente mayor que el intervalo

temporal t_{19} a t_{20} . Finalmente, se termina el proceso de perforación, en el ejemplo de acuerdo con la Fig. 7 en el momento t_{24} .

5 En el ejemplo de acuerdo con la Fig. 7, el parámetro Q siempre alcanza el mismo nivel mientras que Q_A disminuye con el tiempo. Según la finalidad de aplicación, es posible ajustar otros niveles para Q y/o Q_A durante la perforación.

10 Para poder llevar a cabo la perforación de manera controlada, se utiliza, por ejemplo, un modelo matemático, el cual determina los parámetros de proceso, entre otros, de los parámetros del orificio que va a perforarse, como profundidad y forma. Parámetros de proceso de este tipo son, por ejemplo: tamaños de material como grosor y composición, la longitud L del respectivo orificio que va a perforarse, los valores medidos para las coordenadas de posición de la superficie de la pieza de trabajo, los tamaños de Q y Q_A dependiendo de la profundidad de perforación T , presión del líquido transportado por el dispositivo de bombeo 4, momento en el que se pasa de modo continuo a modo pulsado (en el ejemplo de acuerdo con la Fig. 7, momento t_4), momentos en los que el orificio de perforación se lava por un chorro de mecanizado puro (en el ejemplo de acuerdo con la Fig. 7, entre t_2 y t_3 así como entre t_{11} y t_{12}), anchura de los pulsos así como frecuencia de pulso, número de pulsos después de la penetración (en el ejemplo de acuerdo con la Fig. 7, tres pulsos), presión del medio de protección mediante el cual se llena la pieza de trabajo. Otro parámetro de proceso también puede ser el ángulo α , en el cual el chorro de mecanizado alcanza la superficie de la pieza de trabajo. También es posible que este ángulo α varíe durante la perforación del mismo orificio. Por ejemplo, en los orificios 12c en la Fig. 7, el chorro de mecanizado se posiciona, por ejemplo, primero un poco más plano y después más empujado para formar la ampliación próxima a la superficie exterior antes de que se ajuste al ángulo final para perforar la parte restante del orificio.

20 El modelo matemático puede ajustarse, por ejemplo, mediante resultados de medición, los cuales se obtienen por la perforación de orificios de ensayo en una pieza de trabajo.

25 En una continuación del procedimiento, las cavidades de la pieza de trabajo se llenan con un medio de protección en forma de un líquido, por ejemplo, agua. Si el chorro de mecanizado penetra ahora una sección de pared, se amortigua por el medio de protección líquido, de manera que alcanza con energía reducida una sección de pared que está dispuesta detrás de un orificio, visto en dirección de perforación. Por eso, esta sección de pared está protegida de un deterioro.

30 Para el llenado de la pieza de trabajo, se sellan las aberturas exteriores que llevan a las cavidades, de manera que puede bombearse medio de protección en las cavidades por al menos una tubería de alimentación. En la Fig. 1, por ejemplo, la brida 27 sirve para el sellado y la conexión 26 sirve para el vertido del medio de protección.

35 Tras la perforación del primer orificio, sale medio de protección de este. En el ejemplo de acuerdo con la Fig. 1, este puede recogerse en la cuenca 1b y puede bombearse de manera circulatoria por la pieza de trabajo.

40 Si el orificio se modela tras la penetración mediante pulsos individuales, el respectivo intervalo temporal entre los pulsos está seleccionado típicamente para ser mayor que la longitud del pulso individual. (De esta manera, en el ejemplo de acuerdo con la Fig. 7, el intervalo temporal de la interrupción de t_{20} a t_{21} es mayor que la longitud de pulso de t_{19} a t_{20} .) Con ello se consigue que la acción de un pulso sobre el medio de protección esté disminuida de manera que este actúe como amortiguación de nuevo de la manera más óptima para el próximo pulso. La interrupción también está seleccionada preferentemente de manera que, en una apertura eventual de la válvula de alivio de presión de los medios de válvula 28, esta esté cerrada de nuevo antes de que se inicie el próximo pulso.

45 En una continuación del procedimiento, el flujo actual del medio de protección del orificio perforado puede usarse para evaluar la calidad del orificio perforado. De esta manera, de la dimensión deseada del orificio que va a perforarse puede determinarse, por ejemplo, qué caudal Q_s del medio de protección hay que esperar por la bomba (por ejemplo, en unidades de litros por minuto). El caudal actual puede determinarse mediante un caudalímetro. Si es significativamente distinto del valor Q_s esperado, especialmente fundamentalmente menor, puede deducirse que el orificio no presenta la dimensión deseada y, por eso, tiene que mecanizarse posteriormente dado el caso. También es concebible analizar la forma del chorro con la cual el medio de protección sale del orificio después de la penetración, por ejemplo, ópticamente mediante láser (por ejemplo, aquel del equipo de medición 19) o cámara. Por ejemplo, si el orificio es demasiado pequeño, el chorro se lanza de la superficie de la pieza de trabajo menos lejos de lo esperado.

50 Un control de calidad mediante el flujo del medio de protección es especialmente útil en la perforación de una pluralidad de orificios en la pieza de trabajo, puesto que, con ello, puede suprimirse una medición costosa de todos los orificios tras la perforación.

55 La Fig. 8 muestra un ejemplo de un transcurso del procedimiento, en el cual, en un álabe como pieza de trabajo, se perfora una pluralidad de orificios que están dispuestos en varias filas. A continuación, se explica con más detalle las etapas de procedimiento 100, 101, 102, etc. individuales. En las ramificaciones 111, 123 y 133, Y representa "Yes" ("Sí") o N representa "No" ("No") como respuesta a una decisión.

- 100: Se prepara el álabe, entre otros, se sella, para posibilitar un llenado con medio de protección, y
 101: se sujeta en el equipo de retención 11.
 102: El álabe se mide mediante el equipo de medición 19. Con ello, se determinan, entre otros, las coordenadas
 5 de posición actuales de la superficie del álabe relativas al origen de coordenadas para poder posicionar el
 cabezal de mecanizado de manera precisa en las posiciones deseadas para la perforación de los orificios.
 103: Ahora, se crea el programa y/o se adapta de acuerdo con los datos obtenidos en la etapa 102 para proveer
 de esta manera el álabe sujetado actualmente de orificios en las posiciones deseadas.
 104: El álabe se llena con los medios de protección fluidos. En el ejemplo de acuerdo con la Fig. 2, esto se
 realiza por la conexión 26 y a través del mandril 21.
 10 105: Se comprueba si el álabe es hermético, de manera que no salga ningún medio de protección.
 106: El medio de protección se presiona a presión p. Para la ventilación, se abre la válvula 28.
 107: Se ajustan los medios para la supervisión de la presión p.
 108: El equipo de alimentación 40 se encuentra en la posición donde no puede llegar ningún material abrasivo al
 cabezal de mecanizado 10. En el ejemplo de acuerdo con la Fig. 3, la pieza deslizante 46 se encuentra en
 15 la posición donde el canal de derivación 46b está unido a la entrada 45.
 109: Se enciende la cinta transportadora 44.
 110: Se supervisa el caudal del material abrasivo y
 111: se examina si está en orden, es decir, si es constante. Si esto no es el caso (rama con "N"),
 112: existe un fallo, el cual elimina el usuario. En el otro caso (rama con "Y"),
 20 113: se autoriza el proceso.
 114: El cabezal de mecanizado 20 se pone en marcha en la posición de taladrado y se alinea, de manera que el
 chorro de mecanizado puede alcanzar la superficie de la pieza de trabajo en el ángulo deseado.
 115: Se encienden los medios de sensor 7, 8, 9.
 116: Se enciende el dispositivo de bombeo 4 para la generación de la alta presión.
 25 117: Se ajusta y supervisa la presión del líquido que se extrae por el dispositivo de bombeo 4.
 118: Se abre la válvula de alta presión 31.
 119: El proceso de perforación se inicia de acuerdo con las especificaciones de proceso.
 120: El equipo de dosificación 42 se ajusta de manera que llega material abrasivo al cabezal de mecanizado 10.
 121: Se perfora en el modo continuo o se pulsa ya según la longitud de orificio que va a perforarse. En el
 30 ejemplo de acuerdo con la Fig. 3, el modo pulsado se realiza por el movimiento de la pieza deslizante 46 y/o
 el accionamiento de la válvula de alta presión 31.
 122: El primer proceso de perforación se termina en el momento calculado.
 123: A este respecto, se comprueba continuamente si aún no se ha realizado la penetración por la pared. Si la
 penetración se realiza antes de lo esperado (rama 123a),
 35 124: se realiza una desconexión rápida del chorro de mecanizado. En el otro caso (rama con "Y"),
 125: se realiza la otra perforación en el modo pulsado hasta que se detecta la penetración.
 126: El orificio perforado se forma por pocos pulsos.
 127: Dado el caso, el orificio se sigue mecanizando, por ejemplo, con otros pulsos, si las especificaciones de
 proceso requieren esto y/o la evaluación de la forma del orificio aún no da como resultado la calidad
 40 deseada.
 128: Se pone en marcha la próxima posición en la pieza de trabajo para perforar el próximo orificio, con lo cual
 129: el proceso empieza de nuevo en la etapa 108.
 130: Se repiten las etapas 108 a 129 hasta que están perforados los orificios en la misma fila.
 131: Se ajusta la presión p del medio de protección y se mide el caudal del medio de protección por la fila de los
 45 orificios perforados y se compara con el valor esperado. De manera alternativa o complementaria,
 132: se mide la altura hasta la cual el medio de protección sale del respectivo orificio en forma de chorro, y se
 compara con el valor esperado. La medición se realiza, por ejemplo, mediante el equipo de medición 19, el
 cual presenta un láser.
 133: Se comprueba si la comparación en la etapa 131 o 132 se encuentra dentro de la tolerancia. En caso
 50 negativo (rama con "N"),
 134: el orificio correspondiente es defectuoso y se mecaniza posteriormente con otros pulsos. Dado el caso, se
 adapta el proceso, por ejemplo, al adaptarse el programa en la etapa 103. Si el resultado de medición se
 encuentra en el intervalo de tolerancia (rama con "Y"),
 135: se perfora la próxima fila.
 55 136: El proceso de perforación se repite hasta que están perforados todos los orificios deseados.
 137: Se limpia la pieza de trabajo 12 para eliminar, por ejemplo, el material abrasivo.
 138: Los orificios perforados se someten a un control final al registrar otra vez el caudal del medio de protección
 por los orificios y compararse con el valor esperado.
- 60 Por la descripción precedente, son accesibles para el experto numerosas variaciones sin alejarse del ámbito de
 protección de la invención, que está definido por las reivindicaciones.

De esta manera, en el ejemplo de realización descrito anteriormente, el cabezal de mecanizado 10 es móvil en
 65 varios ejes, mientras que el equipo de retención 11 es rotatorio únicamente alrededor de un eje de rotación. Según la
 finalidad de aplicación, el número de ejes alrededor de los cuales son móviles el cabezal de mecanizado y el equipo
 de retención puede ser diferente, para posibilitar un movimiento relativo entre cabezal de mecanizado y pieza de

trabajo. En una variante, por ejemplo, el cabezal de mecanizado 10 puede estar dispuesto de manera estacionaria, mientras que el equipo de retención es movable alrededor de varios ejes, por ejemplo, alrededor de tres ejes de traslación y dos ejes de rotación. A este respecto, el equipo de retención puede estar conformado como brazo robótico.

5 En el ejemplo de realización descrito anteriormente, la pieza de trabajo 12 está alineada en posición horizontal. La instalación también puede estar diseñada de manera que la pieza de trabajo 12 esté retenida en otra posición, por ejemplo, que también discorra perpendicularmente.

10 En el ejemplo de acuerdo con la Fig. 2, están representados tres sensores 7, 8, 9 para el registro de la penetración. Con ello, se logra una redundancia en la medición. El número de sensores también puede ser diferente y ascender a uno, dos o más.

15 En el ejemplo de realización anteriormente descrito, el flujo del medio de protección por el orificio perforado se usa para evaluar su calidad. También es concebible usar otro medio. Por ejemplo, puede conducirse aire por un respectivo orificio y registrarse su flujo. Si se miden desviaciones del valor teórico, la forma del orificio, por ejemplo, su diámetro mínimo, no corresponde a las masas deseadas. El orificio puede mecanizarse posteriormente de manera correspondiente.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para la perforación de al menos un orificio (12b, 12c, 12d) en una sección de pared delantera de una pieza de trabajo (12) mediante un chorro de mecanizado de líquido, al cual está añadido material abrasivo si es necesario, encontrándose la sección de pared delantera, vista en dirección de perforación, delante de una sección de pared trasera de la pieza de trabajo, que está dispuesta con un espacio intermedio alejada de la sección de pared delantera, caracterizado por que el orificio (12b, 12c, 12d) se genera de manera que se perfora al menos parcialmente por el uso de líquido y material abrasivo y por que el orificio (12b, 12c, 12d) se perfora al menos parcialmente al impactar el chorro de mecanizado de manera pulsada sobre la sección de pared delantera, generándose el chorro de mecanizado pulsado al interrumpirse de manera recurrente el impacto del líquido y/o del material abrasivo sobre la sección de pared delantera.
- 10 2. Procedimiento según la reivindicación 1, registrándose el momento en el que el chorro de mecanizado penetra la sección de pared delantera mediante medios de sensor (7, 8, 9).
- 15 3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, mecanizándose posteriormente la forma del orificio (12b, 12c, 12d) por el chorro de mecanizado pulsado después del momento en el que chorro de mecanizado ha penetrado la sección de pared delantera, siendo preferentemente el número de pulsos para el mecanizado posterior menor de 20, más preferentemente menor de 15 y aún más preferentemente menor de 10.
- 20 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, llenándose el espacio intermedio (12a) entre la sección de pared delantera y trasera con un medio de protección fluido, el cual preferentemente también se usa para la generación del chorro de mecanizado, encontrándose preferentemente el medio de protección a presión en el espacio intermedio (12a), de manera que fluye del orificio (12b, 12c, 12d) cuando el chorro de mecanizado penetra la sección de pared delantera.
- 25 5. Procedimiento según la reivindicación 4, evaluándose para el análisis de la calidad del orificio (12b, 12c, 12d) perforado el flujo del medio de protección por el orificio y/o la forma del chorro, el cual presenta el medio de protección en la salida del orificio.
- 30 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, perforándose todo el orificio (12b, 12c, 12d) por un chorro de mecanizado pulsado dependiendo de la longitud de orificio L que va a perforarse o perforándose una primera parte de la longitud de orificio L al impactar el chorro de mecanizado de manera permanente sobre la sección de pared delantera, y perforándose una segunda parte de la longitud de orificio L al impactar el chorro de mecanizado de manera pulsada sobre la sección de pared delantera.
- 35 7. Procedimiento según la reivindicación 6, interrumpiéndose en la fase de la perforación, en la que el chorro de mecanizado impacta de manera permanente sobre la sección de pared delantera, el impacto del material abrasivo sobre la sección de pared delantera una o varias veces para expulsar material abrasivo acumulado en el orificio de perforación.
- 40 8. Instalación de mecanizado, con la cual puede llevarse a cabo el procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, generando la instalación de mecanizado durante el funcionamiento para la perforación de orificios (12b, 12c, 12d) en una pieza de trabajo (12) al menos un chorro de mecanizado y siendo conmutable entre un modo continuo, en el cual el chorro de mecanizado de líquido y material abrasivo impacta continuamente sobre la pieza de trabajo, y un modo pulsado, en el cual el chorro de mecanizado está pulsado, de manera que se interrumpe el impacto del líquido y/o del material abrasivo sobre la pieza de trabajo (12), presentando la instalación de mecanizado un control (3) que está equipado con un programa en cuya realización puede llevarse a cabo el procedimiento.
- 45 9. Instalación de mecanizado según la reivindicación 8, con un equipo de llenado (26) para el llenado de la pieza de trabajo (12) con un medio de protección fluido.
- 50 10. Instalación de mecanizado según una de las reivindicaciones 8 o 9, con medios de sensor (7, 8, 9) para registrar el momento cuando el chorro de mecanizado penetra una pared de la pieza de trabajo (12), estando configurados los medios de sensor preferentemente para registrar vibraciones en un cuerpo sólido, en un líquido y/o en el aire, comprendiendo de forma particularmente preferente los medios de sensor un sensor de emisión acústica y/o un micrófono, especialmente un hidrófono.
- 55 11. Instalación de mecanizado según una de las reivindicaciones 8 a 10, con un equipo de alimentación (40, 40') para la alimentación de material abrasivo, el cual presenta medios (49) para la determinación de la cantidad alimentada (Q_A) de material abrasivo y/o un canal de derivación (46b, 52) por el cual puede conducirse material abrasivo para interrumpir la añadidura al chorro de mecanizado.
- 60 12. Instalación de mecanizado según la reivindicación 11, siendo el canal de derivación (46) móvil de un lado a otro entre dos posiciones y/o estando unido a una salida (42b) para desviar material abrasivo.
- 65

13. Instalación de mecanizado según una de las reivindicaciones 8 a 12, con un cabezal de mecanizado (10), desde el cual sale el chorro de mecanizado durante el funcionamiento, y un equipo de retención (11), el cual comprende un cabezal de retención (22) para la retención de la pieza de trabajo (12), siendo el cabezal de mecanizado y el cabezal de retención móviles relativamente entre sí de manera traslacional y rotacional, siendo posible preferentemente un movimiento a lo largo de tres ejes traslacionales (X, Y, Z) y alrededor de al menos dos ejes de giro (B, C, D).
- 5
14. Programa informático, llevándose a cabo en su ejecución en una instalación según una de las reivindicaciones 8 a 13 el procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7.
- 10
15. Soporte de datos en el cual está almacenado el programa informático según la reivindicación 14.

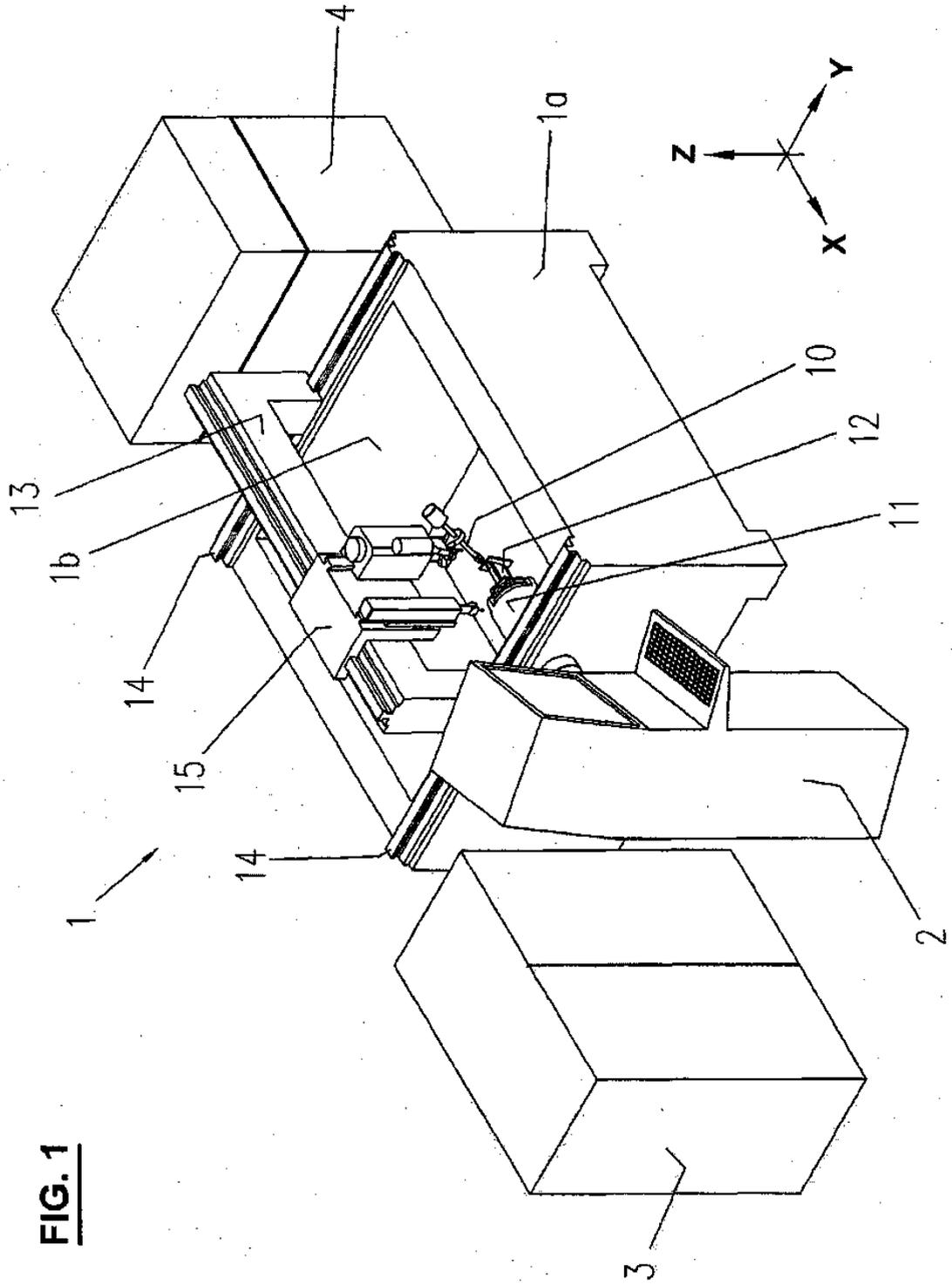


FIG. 1

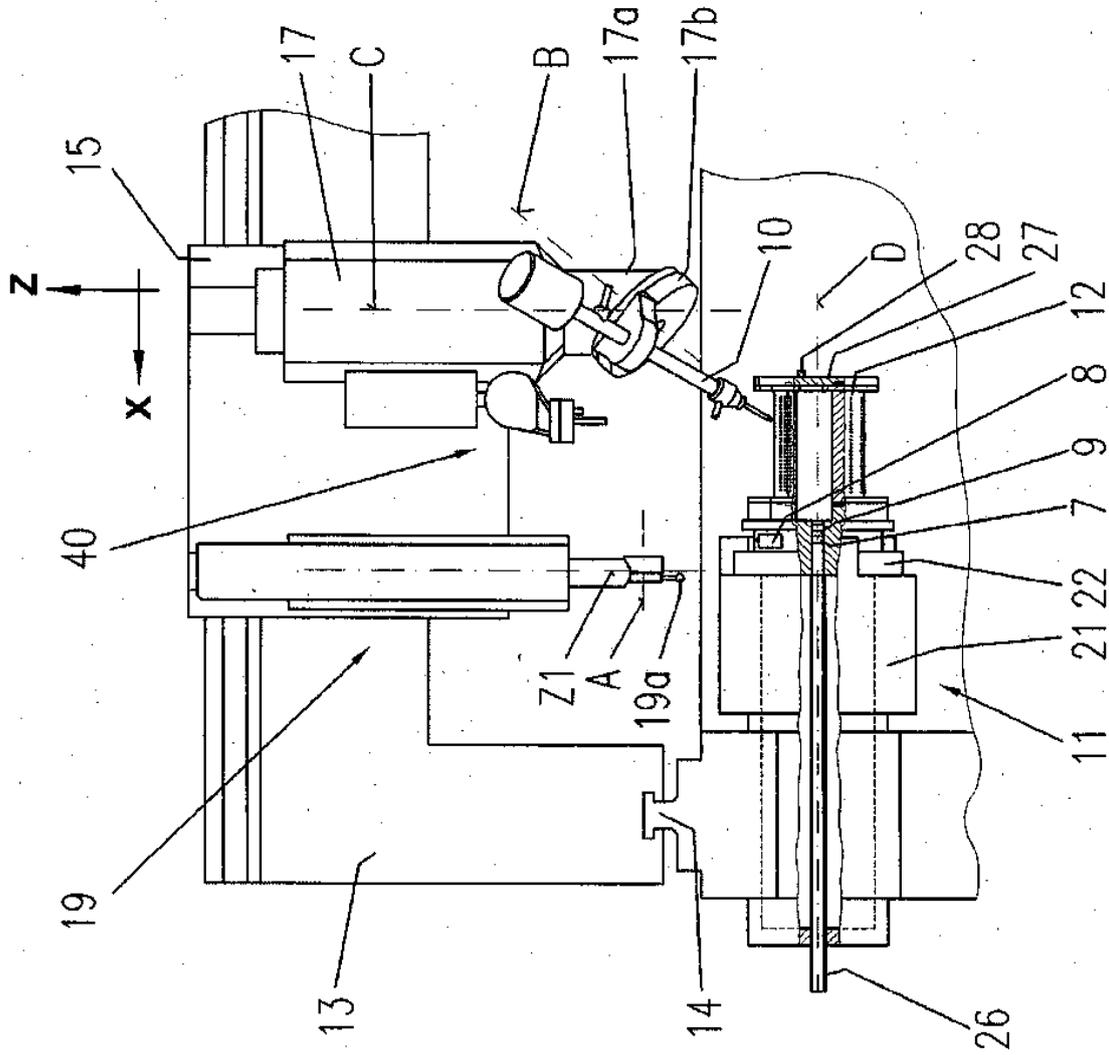


FIG. 4

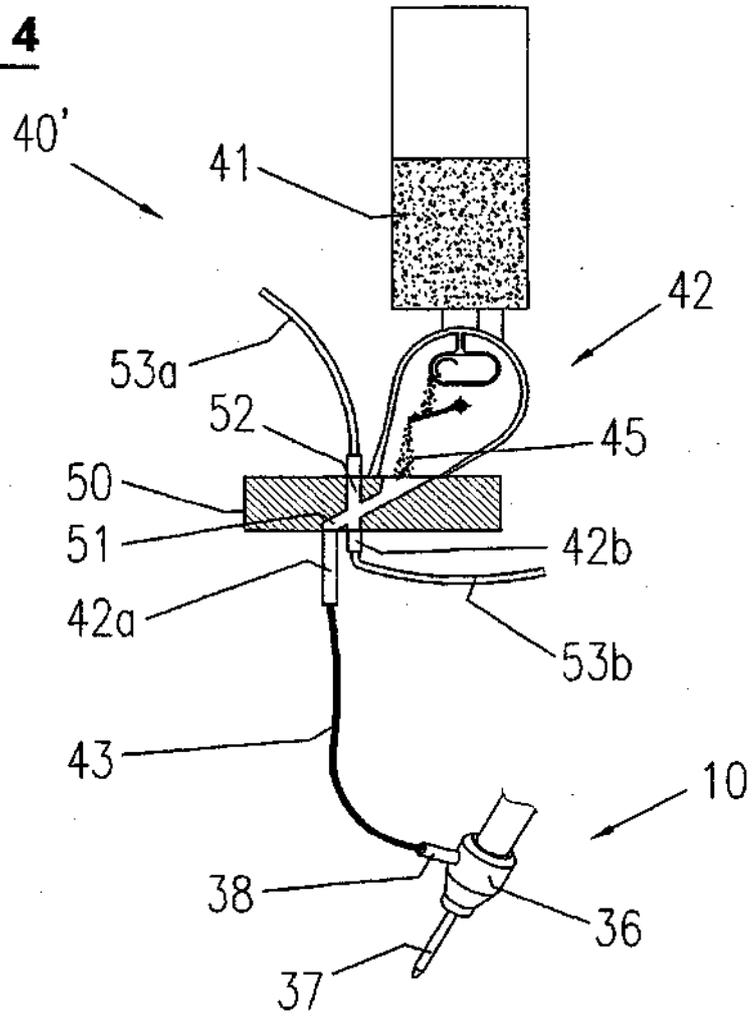
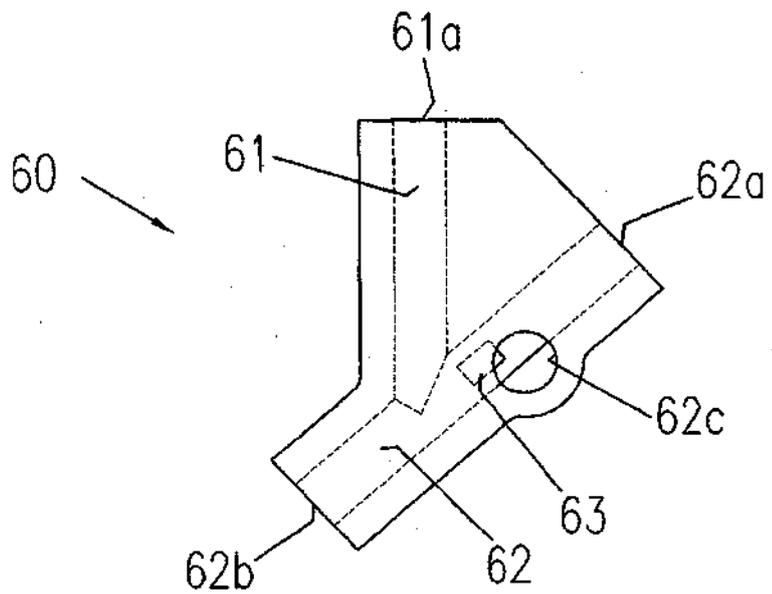
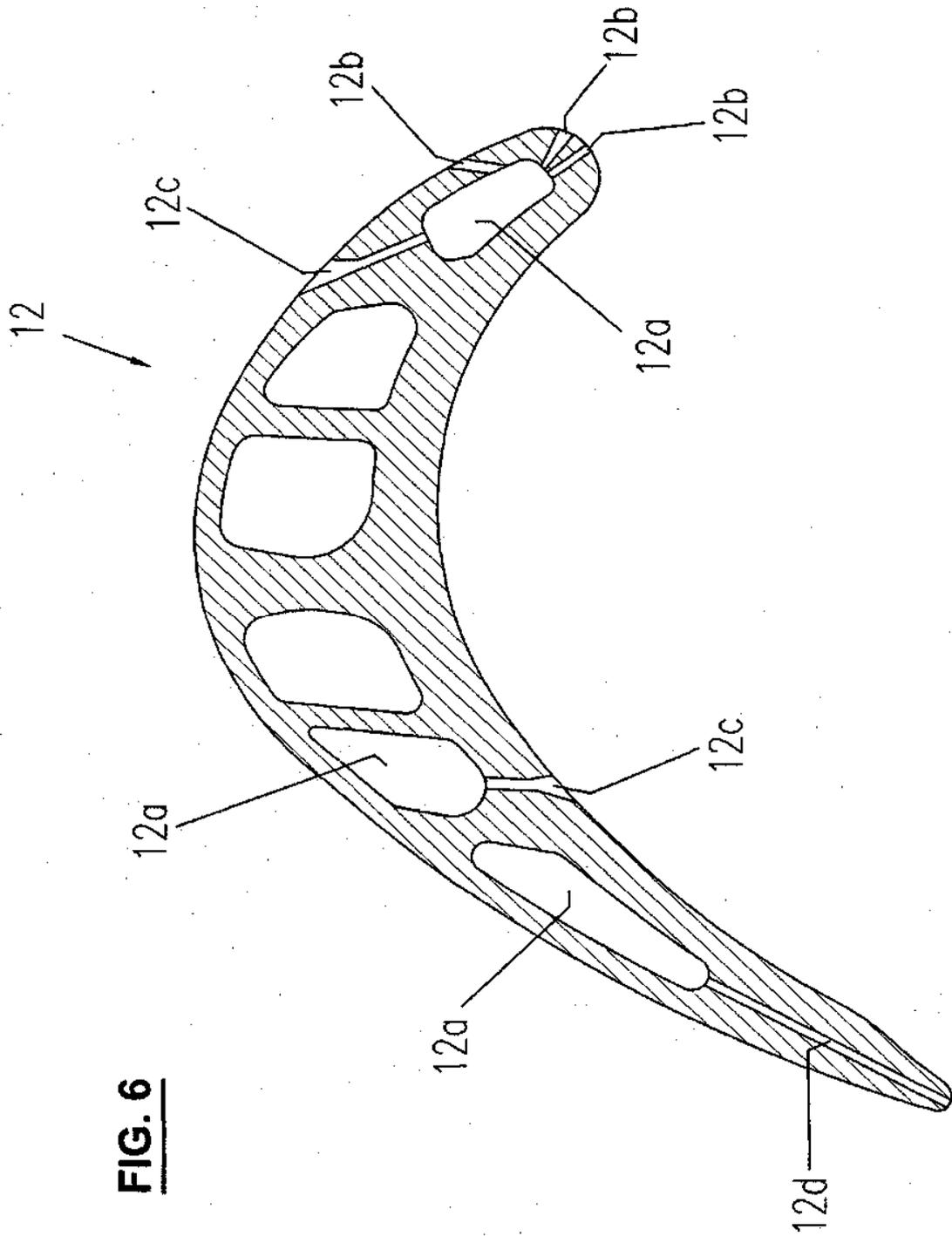


FIG. 5





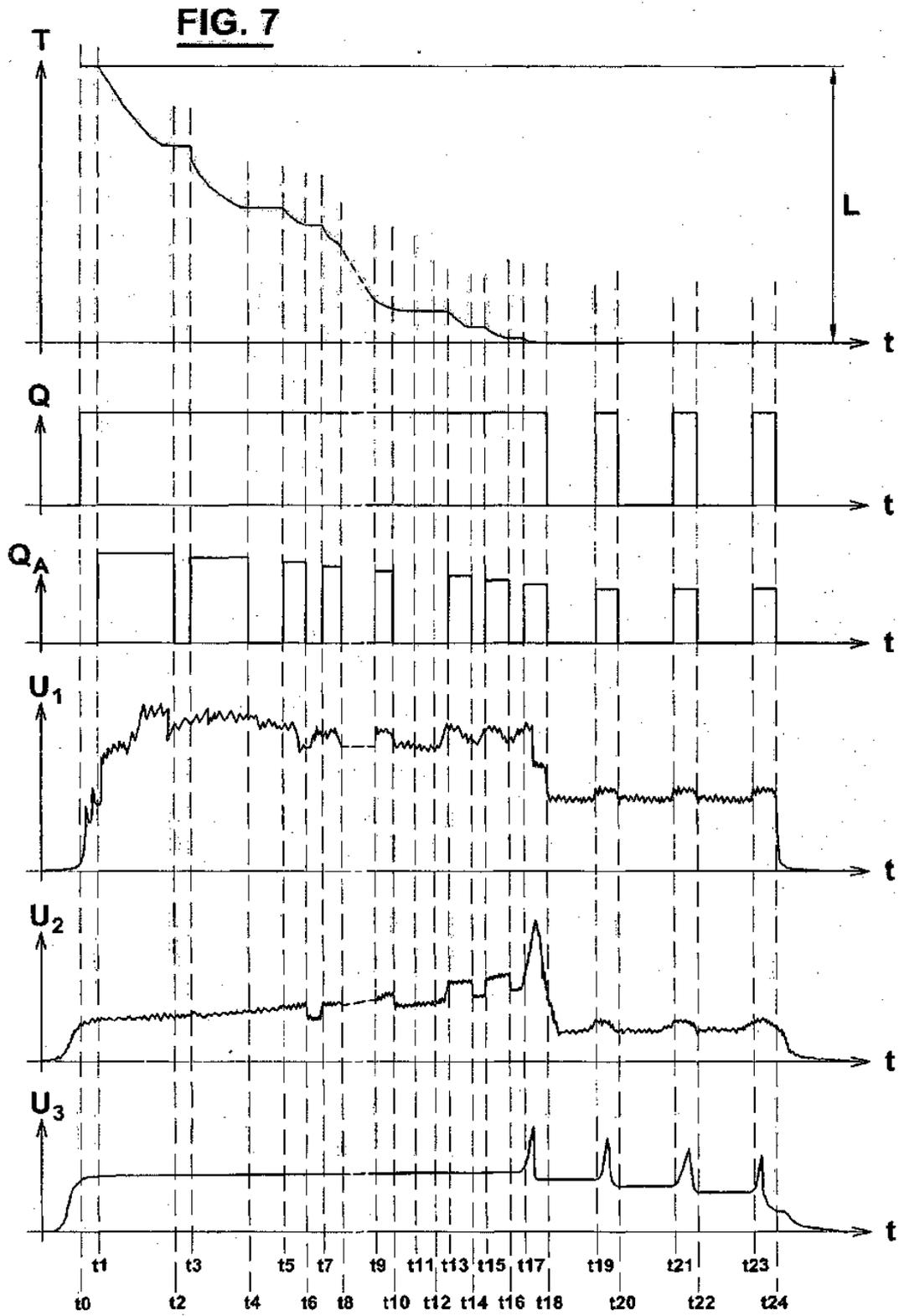


FIG. 8

