

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 887 085**

51 Int. Cl.:

B23Q 11/10

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.05.2016** **E 16382239 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.05.2021** **EP 3248730**

54 Título: **Dispositivo y método para refrigeración y lubricación de herramientas en procesos de mecanizado**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
21.12.2021

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD DEL PAIS VASCO - EUSKAL
HERRIKO UNIBERTSITATEA (UPV/EHU) (50.0%)
Barrio Sarriena, S/N
48940 Leioa, Bizkaia, ES y
FUNDACIÓN TECNALIA RESEARCH &
INNOVATION (50.0%)**

72 Inventor/es:

**PEREIRA NETO, OCTAVIO MANUEL;
RODRÍGUEZ EZQUERRO, ADRIÁN;
LÓPEZ DE LACALLE MARCAIDE, LUIS
NORBERTO;
GIROT MATA, FRANCK ANDRÉS;
PENALVA OSCOZ, MARILUZ y
RIVERO RASTRERO, MARIA ASUNCIÓN**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 887 085 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

Dispositivo y método para refrigeración y lubricación de herramientas en procesos de mecanizado

5 **Campo de la técnica**

La presente invención pertenece al campo de la fabricación mecánica, y más concretamente a sistemas de lubricación y de refrigeración de herramientas en procesos de mecanizado.

10 **Antecedentes de la invención**

En procesos de mecanizado, de cara a aumentar su productividad, y teniendo en cuenta la necesidad de mantener y/o mejorar la integridad superficial tras el proceso, es habitual el empleo de lubricantes y refrigerantes. En los procesos de mecanizado por arranque de viruta mediante taladrinas se utilizan como fluidos de corte principalmente emulsiones de aceite con base mineral donde el aceite mineral está en una concentración que oscila entre el 5 % y el 40 %.

Por ejemplo, la patente US5678466 describe un dispositivo de refrigeración y lubricación externo para asistir a la zona de contacto de una sierra y la pieza que se está mecanizando. Dos recipientes contienen sendos fluidos en estado líquido, uno de los cuales trabaja como lubricante mientras que el otro trabaja como refrigerante. Cada fluido en estado líquido se aplica sobre la zona de mecanizado mediante elementos de aplicación de tipo spray independientes.

Una de las alternativas que han surgido con el fin de eliminar las taladrinas de los procesos de mecanizado es la utilización de líquidos criogénicos como fluidos de corte. Esta técnica se conoce como refrigeración criogénica y consiste en asistir el mecanizado con líquidos y/o gases a muy bajas temperaturas con el fin de reducir la temperatura de corte. Entre las ventajas de la refrigeración criogénica cabe decir que es una tecnología limpia, segura y medioambientalmente respetuosa.

Los gases que normalmente se utilizan para inyectar en la zona de corte son el nitrógeno líquido (LN2) y el dióxido de carbono líquido (CO2). Las razones por las cuales se utiliza el LN2 como fluido de corte son que es un gas inerte que se encuentra en grandes cantidades en la atmósfera y tiene una alta capacidad refrigerante (-196 °C). Por contrapartida, el LN2 es de difícil almacenamiento al estar en continua ebullición debido a que es introducido dentro de recipientes a -196 °C y presión atmosférica que no están completamente aislados. Por ello, el LN2 genera una sobrepresión en el interior del recipiente que, una vez alcanza un determinado valor, acciona una válvula de seguridad que permite evacuar nitrógeno en forma de escape para evitar cualquier riesgo de explosión por sobrepresión de nitrógeno. En cambio, el CO2 tiene una capacidad refrigerante menor (-78 °C), puede ser almacenado en estado líquido a temperatura ambiente en recipientes presurizados a 5,5 – 6 MPa y puede disolver aceites cuando está en estado supercrítico, lo que desde un punto de vista industrial lo hace más atractivo. Como contrapartida, al utilizar CO2 se necesita un sistema de regulación especial para evitar la formación de hielo seco en los conductos del sistema antes de su expansión en la salida del sistema. En este punto es donde entran en juego los sistemas de regulación de CO2.

Hoy en día, existen principalmente dos tipos de sistemas de regulación de CO2: El primer tipo (Tipo-I) es un sistema de regulación estrictamente criogénico con el cual simplemente se evita la solidificación del CO2 en los conductos del sistema de inyección. Sin embargo, el segundo tipo (Tipo-II), además de evitar la formación de hielo seco, es capaz de inyectar conjuntamente con el CO2 partículas de aceite pulverizadas en la zona de corte.

Un ejemplo de sistema de regulación del Tipo-I que puede ser aplicado a los procesos de mecanizado es el descrito en la patente US7293570B2. En este sistema, con el fin de evitar la obstrucción de los conductos, el CO2 se solidifica en micropartículas de forma controlada. Para ello, el sistema está formado por un conducto con dos canales coaxiales. Por el canal central se introduce CO2 en estado líquido a 7 MPa. Dicho canal tiene un diámetro inicial reducido – se recomienda que sea de 0,5 mm, pero este diámetro se va incrementando escalonadamente hasta llegar a la salida. Para poder arrastrar las partículas sólidas de CO2 formadas y evitar la obstrucción del canal central, se introduce CO2 en estado gaseoso por el canal externo a una presión que puede oscilar entre 0,07 y 1,72 MPa. Ambos conductos, al estar comunicados justo en la salida del sistema, hacen que el CO2 en estado gaseoso provoque un efecto Venturi que arrastre las partículas de hielo seco hacia el exterior, obteniendo así el fluido de corte para inyectar en la zona de corte.

Los sistemas de regulación más extendidos actualmente son los de Tipo-II. Esto es debido a que están dirigidos a mecanizar superaleaciones, conocidas como materiales de difícil corte, cuya demanda en el sector aeronáutico cada día es mayor. Durante el mecanizado de estos tipos de materiales, la herramienta está sometida a grandes esfuerzos que provocan su prematuro desgaste, por lo que además de refrigerar es necesario lubricar. A continuación, se citan algunos sistemas de este tipo.

En la patente US2011/0166692A1 se describe un sistema híbrido entre el Tipo-I y Tipo-II; el sistema tiene la capacidad de pulverizar partículas de aceite y utilizar la tecnología criogénica, pero de forma separada. es decir, no se pueden criogenizar las partículas de aceite. Este sistema está basado en la colocación de una manguera que recorre el husillo

de la máquina-herramienta con dos canales coaxiales. El canal central es alimentado con un aerosol de micropartículas de aceite y en el canal externo se introduce CO₂ en estado supercrítico. Su funcionamiento se basa en utilizar un canal u otro en función de las necesidades de la operación de mecanizado. Este sistema concretamente está concebido para operaciones de taladrado en las que el aerosol de micropartículas es inyectado mientras la broca se encuentra mecanizando material. Una vez la broca termina de mecanizar el agujero, en su movimiento de retirada se cierra el canal que contiene el aerosol y se inyecta CO₂ en estado supercrítico con el fin de limpiar los restos de viruta y aceite.

La patente US8048830B1 describe un sistema de regulación del Tipo-II. Se parte de un depósito presurizado que contiene aceite de corte y debe resistir más de 6 MPa de presión. En dicho depósito se introduce CO₂ ya sea en fase no-supercrítica junto con micropartículas sólidas, CO₂ en fase densa-semilíquida o CO₂ puramente en fase gaseosa. Una vez introducido, al aumentar la presión y estar en contacto junto con el aceite de corte, absorbe el CO₂ para formar un fluido de corte carbonatado. Con el aumento de la presión en el depósito, ya sea por la introducción del CO₂ o por la sublimación de las partículas de CO₂, la carbonatación del fluido de corte aumenta y se aproxima a la saturación. Entonces el fluido de corte carbonatado es transportado por bombeo a través de un conducto hacia la zona de corte. Al hacerlo así, y pasando de una presión relativamente alta a las condiciones ambientales, el lubricante carbonatado bulle y el CO₂ se evapora, produciendo una niebla de CO₂ que está compuesta de gas y aceite de corte.

En cambio, en Superkar et al. (2012). Performance of supercritical carbon dioxide sprays as coolants and lubricants in representative metalworking operations. Journal of Materials Processing Technology, 212(12):2652 – 2658, para conseguir una mezcla homogénea de CO₂ y aceite de corte se utiliza un sistema dotado de un depósito presurizado con aceite en su interior. En dicho depósito se introduce CO₂ líquido y posteriormente se aporta calor mediante resistencias eléctricas para llevar el CO₂ por encima de su punto triple para que éste sea soluble en aceite. Una vez realizado el proceso, simplemente se dirige la mezcla hacia la zona de corte mediante un canal situado en la parte superior del depósito.

Por último, en la patente EP2574424B1 se describe un método en el que un aerosol de micropartículas de aceite es refrigerado de forma directa o indirecta. En ambos casos, el sistema está dotado de dos canales; en los que por uno se introduce un aerosol de micropartículas de aceite y por otro CO₂ en estado líquido. En caso de refrigerar el aerosol de forma indirecta, los conductos son dispuestos de tal modo que estén en contacto y consecuentemente por conducción la temperatura del canal que contiene el aerosol descienda. Con el fin de optimizar la transferencia de calor en este caso también se puede utilizar un canal adicional que también contenga CO₂ en estado líquido. Sin embargo, en el caso de refrigerar el aerosol de forma directa, el diseño de los dos canales varía de tal modo que estén comunicados, ya sea en el extremo de la herramienta o en la cabeza del portaherramientas.

El documento EP 2 832493 A1 divulga un dispositivo para la refrigeración y lubricación de una herramienta durante un proceso de mecanizado por arranque de esquirlas, que comprende: - un primer subsistema de refrigeración criogénica; - un segundo subsistema de lubricación que comprende medios para suministrar micropartículas de un aceite de corte en estado líquido; siendo dichos primer subsistema y segundo subsistema independientes entre sí y estando configurados para funcionar ya sea ambos de forma simultánea o solamente uno de los dos.

Como se muestra en el estado de la técnica, debido a la necesidad de no sólo refrigerar, sino también lubricar la zona de corte durante el mecanizado de materiales de difícil corte, los sistemas de regulación de CO₂ del Tipo-I quedan descartados para estos tipos de aplicaciones. En cuanto a los sistemas del Tipo-II expuestos anteriormente, estos no son completamente funcionales en un entorno industrial. Esto es debido a que o bien no ofrecen una respuesta propiamente dicha al mecanizado de materiales de difícil corte, o bien la ofrecen mediante un diseño ad-hoc específico para un caso concreto, no adaptado a cualquier proceso de mecanizado y máquina-herramienta existente en la actualidad.

Descripción de la invención

La presente invención pretende dar respuesta a esta necesidad con un dispositivo de refrigeración y lubricación de herramientas en procesos de mecanizado, capaz de inyectar en la zona de mecanizado tanto dióxido de carbono (CO₂) en estado líquido y micropartículas de un fluido de corte en forma de aerosol simultáneamente, como CO₂ en estado líquido o micropartículas de fluido de corte de forma independiente (solo CO₂ o solo micropartículas de fluido de corte), según la necesidad del material a mecanizar. El dispositivo comprende un sistema de regulación de CO₂ que evita la formación de hielo seco. El dispositivo se ha diseñado para ser adaptado para los principales procesos de mecanizado, como son el fresado, torneado y taladrado. Asimismo, el dispositivo propuesto es totalmente portátil, de tal manera que puede ser utilizado en las diferentes máquinas-herramienta sin necesidad de realizar una instalación previa para su correcto funcionamiento.

Es decir, en función del material a mecanizar, o bien se inyecta CO₂ en estado líquido con el fin de ser utilizado como fluido de corte (refrigeración criogénica), o bien, en caso de ser requerido, se inyecta además un aerosol formado por micropartículas de aceite de corte para asistir como lubricante al CO₂ en estado líquido, o bien se inyecta solamente un aerosol formado por micropartículas de aceite de corte para lubricar la zona de mecanizado. Esto último (lubricación sin refrigeración) puede aplicarse, por ejemplo, en procesos de mecanizado de piezas de aluminio.

Por tanto, el dispositivo tiene la capacidad de suministrar CO₂ en estado líquido, a la vez que se evitan las obstrucciones de los conductos del sistema de inyección por la formación de hielo seco; además, el dispositivo es capaz de inyectar micropartículas de fluido de corte (habitualmente aceite) en forma de aerosol. Además, el suministro de CO₂ se realiza de forma continua y controlada. Este suministro continuo y controlado se interrumpe cuando sea necesario, bajo el control de un algoritmo diseñado a tal efecto.

El dispositivo se divide en dos subsistemas totalmente diferenciados, pero gobernados electrónicamente por unos medios de control comunes (preferentemente un Controlador Lógico Programable (PLC)), con el fin de tener la capacidad de utilizar los dos subsistemas de forma separada o conjunta. El primer subsistema es el encargado de suministrar CO₂ en estado líquido y el segundo es el encargado de pulverizar el aceite de corte con el fin de formar un aerosol con dichas partículas.

En un primer aspecto de la invención, se proporciona un dispositivo con las características de la reivindicación 1.

Además, los medios para presurizar los primer, segundo y tercer conductos por encima del punto triple del CO₂ pueden comprender además una primera llave de paso dispuesta en el primer conducto y una segunda llave de paso dispuesta en el cuarto conducto, configuradas para despresurizar el primer subsistema en caso de que sea necesario.

También, los medios para presurizar dichos primer, segundo y tercer conductos por encima del punto triple del CO₂ pueden comprender además un primer regulador de presión de CO₂ en estado líquido y un segundo regulador de presión de CO₂ en estado gaseoso, estando dispuesto el primer regulador de presión entre los tercer y segundo conductos; y estando dispuesto el segundo regulador de presión entre los cuarto y quinto conductos.

En una posible realización, los medios para suministrar micropartículas de un aceite de corte en estado líquido, comprenden: una tercera entrada configurada para introducir aire presurizado en un séptimo conducto del dispositivo; un depósito configurado para suministrar un aceite de corte en estado líquido a través de un octavo conducto; una tercera electroválvula configurada para controlar el paso de aire presurizado al séptimo conducto; una cuarta electroválvula para controlar el paso del aceite de corte al octavo conducto; un acople diseñado para unir dichos séptimo y octavo conductos en un único conducto; y una tobera dispuesta en el extremo de la salida de dicho conducto, estando la tobera configurada para, por efecto Venturi, pulverizar el aceite de corte para ser inyectado.

En una realización más particular, el acople es un acople en T, en el que los séptimo y octavo conductos se unen axialmente en dicho conducto. Preferentemente, el conducto de salida del acople en T es una manguera con dos canales coaxiales: un conducto interno configurado para que fluya el aceite de corte en estado líquido, estando el conducto interno rodeado por una pared externa, configurada para que fluya el aire presurizado entre el conducto interno y la pared externa.

Además, los medios para suministrar las micropartículas de un aceite de corte en estado líquido pueden comprender un tercer regulador de presión situado entre un noveno conducto dispuesto a la salida de la tercera entrada y un décimo conducto dispuesto a la entrada de la tercera electroválvula. En una posible realización, el dispositivo comprende además medios de control configurados para controlar tanto el primer subsistema como el segundo subsistema.

En una posible realización, el dispositivo comprende una pluralidad de patas magnéticas configuradas para acoplarse a una máquina-herramienta.

En una segunda realización de la invención, se proporciona un método de funcionamiento de un dispositivo como el de más arriba como se define en la reivindicación 5.

En una posible realización, el método comprende las siguientes etapas para interrumpir la inyección de CO₂ en estado líquido a través de la primera salida: cierre de la primera electroválvula para controlar el paso de CO₂ en estado líquido; barrido de al menos los segundo y tercer conductos de CO₂ en estado líquido mediante la inyección de CO₂ en estado gaseoso presurizado por encima del punto triple; cierre de la segunda electroválvula de control de CO₂ en estado gaseoso.

En una posible realización, el método comprende las siguientes etapas para la inyección simultánea de CO₂ en estado líquido y un aerosol formado por micropartículas de un aceite de corte en estado líquido: apertura de la segunda electroválvula para controlar el paso de CO₂ en estado gaseoso y de la tercera electroválvula que controla el paso de aire presurizado hacia el séptimo conducto; presurización de los primer, segundo y tercer conductos por encima del punto triple del CO₂; apertura de la primera electroválvula que controla el paso de CO₂ en estado líquido y de la cuarta electroválvula que controla el paso del aceite de corte.

En una posible realización, el método comprende las siguientes etapas para interrumpir la inyección simultánea de CO₂ en estado líquido y un aerosol formado por micropartículas de lubricante en estado líquido: cierre de la primera electroválvula que controla el paso de CO₂ en estado líquido y de la cuarta electroválvula que controla el paso del

aceite de corte; barrido de al menos los segundo y tercer conductos de CO₂ en estado líquido mediante la inyección de CO₂ en estado gaseoso presurizado por encima del punto triple; cierre de la segunda electroválvula para controlar el paso de CO₂ en estado gaseoso y de la tercera electroválvula que controla el paso del aire presurizado.

El dispositivo (y método) no sólo presenta solución a la formación de hielo seco en el interior de los conductos por los que discurre el CO₂ en estado líquido, sino que permite la utilización simultánea de la refrigeración criogénica asistida por micropartículas en forma de aerosol, presentando además otras claras ventajas frente al equipo expuesto anteriormente en el estado de la técnica. Gracias al control electrónico de todas las electroválvulas mediante PLC, este equipo permite utilizar de forma independiente las dos tecnologías de la que está compuesto; es decir, la utilización de la refrigeración criogénica o de la lubricación mediante MQL, en función de las necesidades del mecanizado. Por otra parte, está desarrollado no sólo para un tipo de operación o máquina-herramienta específica, sino que el equipo es totalmente portátil e intercambiable pudiendo ser adaptado a cualquier máquina-herramienta de forma ágil y sencilla con el fin de ser utilizado en las principales operaciones de mecanizado. Además, este sistema permite la utilización de la refrigeración criogénica no sólo de forma externa a la herramienta, sino también de forma interna a la herramienta. De hecho, en el caso del fresado, cuando la refrigeración criogénica es utilizada de forma interna a la herramienta, ésta es utilizada como intercambiador de calor, lo que se traduce en un ahorro considerable de CO₂ en estado líquido y aumento de la vida útil de la máquina. Cuando se usan los dos subsistemas simultáneamente, inyectándose ambos fluidos en la zona de corte, se utiliza todo el poder refrigerante del CO₂ no sólo para refrigerar dicha zona de corte, sino también para refrigerar las micropartículas de aceite (es decir, el lubricante). De esta forma, las micropartículas de aceite alcanzan temperaturas cercanas a los -78 °C a la vez que se disminuye la temperatura de corte. Por otra parte, al no poseer ningún depósito presurizado en cuyo interior se contenga aceite de corte, la recarga de aceite en el depósito destinado a su almacenamiento se puede realizar durante su utilización sin entrañar ningún peligro o la necesidad de detener el equipo para proceder a la recarga del depósito. Por último, gracias al sistema de control electrónico gobernado mediante PLC, el consumo de aceite de corte es controlado de forma exhaustiva, suministrando el caudal exacto de aceite necesario en cada momento.

En resumen, con esta invención se consigue inyectar no sólo de forma combinada el CO₂ en estado líquido y un aerosol de micropartículas de aceite, sino que también de forma independiente. Además, el equipo puede ser instalado de forma totalmente "plug&play", tanto en máquinas-herramienta nuevas como ya existentes y ser utilizado en cualquiera de las principales operaciones de mecanizado.

Estas y otras ventajas de la invención resultarán aparentes a la vista de la descripción que se presenta a continuación.

Breve descripción de los dibujos

Para complementar la descripción y con objeto de ayudar a proporcionar una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo de realización práctica de la invención, se acompaña como parte integrante de la descripción, el siguiente juego de figuras. Lo que se representa en estas figuras no es limitativo y solamente es con propósitos ilustrativos.

Las Figuras 1A a 1E muestran diferentes vistas o detalles del dispositivo de acuerdo con una posible realización de la invención. La Figura 1A representa una vista de la parte frontal del dispositivo. Las Figuras 1B y 1C muestran detalles de algunas conexiones del dispositivo. La Figura 1D muestra una vista en perspectiva del dispositivo, en el que se puede observar su parte inferior. La Figura 1E muestra los elementos que se encuentran en el interior de la carcasa del dispositivo.

La Figura 2 muestra un diagrama de flujo de un algoritmo utilizado para el control del equipo de acuerdo con una posible realización de la invención.

La Figura 3 muestra un esquema del equipo de acuerdo con una posible realización de la invención.

La Figura 4 muestra dos vistas (lateral y frontal) del acople (racor de 2 canales) utilizado para acoplar la salida del acople de los canales de aire presurizado y aceite de corte, del subsistema de lubricación, con la manguera que conduce a la tobera, de acuerdo con una posible realización de la invención.

La Figura 5 muestra una vista longitudinal (lateral izquierda) y una vista transversal (lateral derecha) de la tobera de dos canales que se sitúa en el extremo de la manguera utilizada en el subsistema MQL, de acuerdo con una posible realización de la invención.

La Figura 6 muestra un ejemplo de uso del dispositivo de forma externa a la pieza que se está mecanizando.

Las Figuras 7A y 7B muestran un ejemplo de uso del dispositivo de forma interna a la herramienta que se usa para mecanizar.

Descripción de un modo de realización de la invención

En este texto, la palabra "comprende" y sus variantes (tales como "comprendiendo", etc.) no deben interpretarse de forma excluyente, es decir, estas palabras no excluyen la posibilidad de que lo descrito incluya otros elementos, pasos, etc.

En el contexto de la presente invención, el término "aproximadamente" y los términos de su familia (tales como "aproximado", etc.) deberían comprenderse como valores indicativos muy próximos a los que acompañan al término anteriormente mencionado. Es decir, se debería aceptar una desviación dentro de los límites aceptables a partir de un valor exacto, ya que una persona experta en la técnica comprenderá que dicha desviación a partir de los valores indicados resulta inevitable debido a las imprecisiones de la medición, etc. Lo mismo resulta aplicable a los términos "alrededor" y "sustancialmente".

La siguiente descripción no debe interpretarse en un sentido limitativo, sino que se proporciona con el propósito de describir los principios generales de la invención. Las siguientes realizaciones de la invención se describen a modo de ejemplos, con referencia a las citadas figuras, que muestran dispositivos, métodos y resultados según la invención.

Las Figuras 1A a 1E muestran varias vistas de un dispositivo 100 de acuerdo con una posible realización de la invención. El dispositivo 100 está formado por una carcasa 30 que alberga varios componentes y por otros componentes situados en el exterior de la carcasa 30. Los componentes internos y externos forman el dispositivo 100. El dispositivo 100 es portátil y fácilmente acoplable a cualquier máquina-herramienta para asistir en las principales operaciones de mecanizado. El dispositivo 100 es totalmente independiente de la máquina. Para la instalación "plug&play", el dispositivo 100 está dotado de unas patas magnéticas, no ilustradas, que hacen que pueda ser acoplado a cualquier máquina sin dificultad. Los diversos componentes del dispositivo 100 se controlan mediante medios de control 22. Estos medios de control 22, que están configurados para automatizar procesos electromecánicos, comprenden medios de procesamiento, tales como una computadora. Preferentemente, estos medios de control 22 son un PLC (del inglés Programmable Logic Controller, Controlador Lógico Programable). La Figura 2 muestra un diagrama de flujo de un algoritmo utilizado por los medios de control 22. El algoritmo se describe en detalle más adelante. La Figura 3 muestra un esquema en forma de diagrama de bloques, del dispositivo 100 ilustrado en las Figuras 1A-1E.

El dispositivo 100 se divide en dos subsistemas 110, 120 totalmente diferenciados, pero gobernados electrónicamente por los medios de control 22, preferentemente PLC, común a los dos subsistemas. Un primer subsistema 110 es el encargado de suministrar CO₂ en estado líquido (también llamado subsistema de regulación de CO₂ en estado líquido) y un segundo subsistema 120 es el encargado de pulverizar el aceite de corte con el fin de formar un aerosol con las partículas pulverizadas (también llamado subsistema para la pulverización del aceite de corte).

El primer subsistema 110 ha sido desarrollado de tal modo que evita la formación de hielo seco en el interior de los conductos por los que circula el CO₂ en estado líquido (conductos "a", "b" y "g" en la Figura 3). En los conductos "a" y "b", el CO₂ en estado líquido se encuentra a temperatura ambiente. La temperatura del CO₂ en estado líquido se reduce al pasar por el regulador de presión 11. La temperatura se reduce debido al descenso de presión. Y una vez el CO₂ en estado líquido es inyectado (por la salida 18), alcanza los -78 °C al despresurizarse totalmente. En el caso del CO₂, la temperatura criogénica es de -78 °C. Para evitar la formación de hielo seco, este subsistema 110 está dotado de dos canales de entrada (una entrada 1 de suministro de CO₂ en estado líquido desde la que se accede a un canal o conducto "a" y la entrada 2 de suministro de CO₂ en estado gaseoso desde la que se accede a un canal o conducto "d") comunicados como se explica más adelante, y un canal o conducto de salida "g". En dicho acople 18 se conectará un extremo de una manguera o conducto, no ilustrada, por no formar parte del dispositivo 100. El otro extremo de la manguera o conducto se conectará o bien a una tobera, en caso de querer utilizar el CO₂ suministrado por el subsistema 110 como fluido de corte externo, o bien a la entrada del acople del que disponga la máquina-herramienta que se esté utilizando, con el objetivo de inyectar dicho CO₂ internamente a la herramienta.

La Figura 6 muestra un ejemplo de uso del dispositivo en el primer caso (uso externo). Es decir, en este ejemplo, al acople 18 se ha conectado una manguera y el otro extremo de la manguera se ha conectado a una tobera 185, para refrigerar de forma externa la pieza que se está mecanizando. Se ilustra también la tobera MQL 19, que suministra aceite pulverizado de forma externa. La Figura 7 muestra un ejemplo de uso del dispositivo en el segundo caso (uso interno). Como se muestra, por el interior de la herramienta a refrigerar sólo pasa el CO₂ líquido, mientras que el aceite pulverizado siempre se suministra de forma externa, inyectado mediante la tobera 19. El CO₂ líquido discurre por un conducto interno a la máquina. El CO₂ líquido sale por algunos orificios 300 que tiene la herramienta acoplada a la máquina. La máquina y su conducto interno quedan fuera del alcance de la presente invención. Es decir, el aceite de corte para lubricación siempre se suministra de forma externa a la máquina, mientras que el CO₂ líquido para refrigeración puede suministrarse o bien externamente (Figura 6) o bien internamente (Figura 7).

Volviendo a la Figura 3, cada canal de entrada "a", "d" del primer subsistema 110 está controlado electrónicamente por una electroválvula de cierre 7, 8, respectivamente. Más precisamente, la electroválvula de cierre 8 del conducto de CO₂ en estado gaseoso no se sitúa en el propio conducto "d", sino en la prolongación del mismo, a continuación de un regulador de presión 4, en el conducto referenciado como "h". El CO₂ en estado gaseoso sirve para presurizar los conductos del subsistema por encima del punto triple del CO₂ (0,511 MPa y -56,4 °C) antes de la inyección del CO₂ en estado líquido (a través del acople 18). Los conductos que realmente necesitan ser presurizados por encima

del punto triple para evitar la formación de hielo seco son los conductos "a", "b" y "g", ya que es por ellos por donde va a circular el CO₂ líquido. Por ejemplo, con respecto al conducto "a": cuando va a conectarse una nueva botella de CO₂ en estado líquido al dispositivo 100 a través del acople 1, antes de abrir la nueva botella para que el CO₂ líquido llegue hasta la electroválvula 7, puede ser necesario presurizar dicho conducto "a" por encima del punto triple para evitar la formación de hielo seco. Esta presión (por encima del punto triple) se consigue por la acción del CO₂ en estado gaseoso introducido por el acople 2. Es decir, el conducto "d" tiene la presión del recipiente o botella de CO₂ gaseoso (alrededor de 5-6 MPa). Esta presión es reducida por el regulador de presión 4 a un valor por encima del punto triple, que es la que tienen consecuentemente los conductos "h" y "c" para poder transmitirla a los conductos "a", "b" y "g". En suma, todos los conductos del subsistema 110 se presurizan por encima del punto triple del CO₂. Para lograr ese grado de presurización de los conductos, la electroválvula 7 que controla la entrada de CO₂ en estado líquido está puenteada con una válvula antirretorno 15, permitiéndose el paso del CO₂ en estado gaseoso aguas arriba de dicha electroválvula 7 antes de la introducción de CO₂ en estado líquido en el dispositivo a través del acople 1. De este modo, se consigue presurizar todos los conductos del subsistema 110 evitando que, una vez el subsistema sea suministrado con CO₂ en estado líquido, se fugue CO₂ líquido por dicho puenteo. Es decir, los conductos "a" y "b" están comunicados por la válvula antirretorno 15, de tal modo que, en caso de que la electroválvula 7 esté cerrada, se permita el flujo desde el conducto "b" hacia el conducto "a", pero no a la inversa. En el canal o conducto "b", el CO₂ en estado líquido está a una presión de alrededor de 50-60 bares (es decir, 5,0-6,0 MPa), por lo que es preciso pasarlo por un regulador de presión 11, para reducir la presión a un valor cercano, pero por encima, del punto triple del CO₂ (0,511 MPa y -56,4 °C). Cuando por los conductos "a", "b" y "g" circula CO₂ en estado gaseoso, su presión está por encima del punto triple desde el momento de su paso por el regulador de presión 4.

Los conductos "a" y "d" están preferentemente provistos de las llaves de paso 13, 14 (o válvulas de despresurizado), con el fin de despresurizar el sistema en caso de que sea necesario; por ejemplo, para el cambio de un componente del dispositivo 100.

Por otra parte, los canales "c" (de CO₂ en estado gaseoso) y "b" (de CO₂ en estado líquido) también deben estar conectados o comunicados mediante una válvula antirretorno 16, de tal modo que la válvula antirretorno 16 permita la circulación del CO₂ en estado gaseoso hacia la electroválvula 7, pero no a la inversa. Es decir, esto impide que el CO₂ en estado líquido pueda fluir hacia la electroválvula 8. Esto es debido a que durante el ciclo de inyección de CO₂ en estado líquido, en la primera etapa, se abre la electroválvula 8 que controla el CO₂ en estado gaseoso, de tal modo que se presuriza todo el subsistema 110 por encima del punto triple.

Una vez están presurizados todos los conductos del subsistema 110 con CO₂ en estado gaseoso por encima del punto triple, la electroválvula 7 que controla el paso del CO₂ en estado líquido - que se encuentra preferentemente a una presión de entre 5 y 6 MPa - se abre y permite el paso del CO₂ en estado líquido, barriendo el CO₂ en estado gaseoso hacia el canal de salida "g" por un lado y hacia la válvula antirretorno 16. Sin esta válvula 16, el CO₂ en estado gaseoso sería empujado por el CO₂ en estado líquido y todo el canal que contiene CO₂ en estado gaseoso (canales "c", "h" y "d") quedaría lleno con CO₂ en estado líquido. Gracias a esta combinación, se logra llevar el CO₂ en estado líquido hasta el canal de salida "g" (hasta el acople 18) sin la formación de hielo seco en el interior de los conductos y, consecuentemente, sin obstrucciones. Es decir, se evita la formación de hielo seco procedente del CO₂ líquido en los conductos "a", "b" y "g"; es decir, en todos los conductos por los que discurre el CO₂ en estado líquido aguas abajo de la electroválvula 7 y la válvula antirretorno 15.

Finalmente, para cortar la inyección de CO₂ en estado líquido y evitar la expansión de éste en el interior de los conductos por los que circula, se debe cerrar la electroválvula 7 que controla el paso del CO₂ en estado líquido; esto permitirá que el CO₂ en estado gaseoso barra todo los conductos o canales "b" y "g" de CO₂ en estado líquido y, una vez que los conductos quedan sin CO₂ en estado líquido, se cierra la válvula 8 que controla la entrada de CO₂ en estado gaseoso. Se evita así que el CO₂ en estado líquido que queda remanente al cerrar la electroválvula 7 se convierta en hielo seco al disminuir la presión cuando se corta el suministro de CO₂ en estado líquido. Nótese que en este caso (en el que hay CO₂ en estado líquido en el conducto "a"), el CO₂ en estado gaseoso no barre el conducto "a", que se queda con CO₂ en estado líquido con una presión de entre 4,5 y 6 MPa (dependiendo de cómo de lleno esté el depósito o botella que suministra CO₂ en estado líquido al conducto "a"), por eso no hay peligro de formación de hielo seco. Nótese que la presión en el conducto "a" varía de acuerdo con cómo de lleno esté el recipiente o botella de CO₂ en estado líquido que suministra a este conducto "a". Por ejemplo, cuando la botella de CO₂ en estado líquido está llena, la presión en este conducto es de alrededor de 6 MPa, mientras que a medida que la botella se va gastando, la presión en el conducto "a" desciende hasta aproximadamente los 4,5 MPa, que es cuando suele ser necesario cambiar la botella.

Además, el subsistema 110 de regulación de CO₂ en estado líquido tiene preferentemente dos reguladores de presión 4, 11 para controlar tanto la presión de entrada del CO₂ en estado gaseoso (regulador de presión 4), como la presión en el canal de salida "g" cuando el CO₂ discurre en estado líquido (regulador de presión 11). El regulador de presión 4 está colocado en el canal que es suministrado (a través de la entrada 2) con CO₂ en estado gaseoso, aguas arriba de la electroválvula 8, con el fin de disminuir la presión de entrada de CO₂ en estado gaseoso hasta una presión próxima, pero algo mayor, que la del punto triple. Es decir, el regulador de presión 4 se sitúa entre los canales "d" y "h". Preferentemente se diseña el regulador de presión 4 para reducir la presión de CO₂ en estado gaseoso a un rango de 0,6 a 1,5 MPa, más preferentemente a un rango de 0,8 a 1,3 MPa. Por ejemplo, en una realización particular, este

regulador de presión 4 se diseña para reducir la presión de CO₂ en estado gaseoso a 1 MPa aproximadamente. Este regulador de presión 4 es preferentemente de diafragma simple o doble, de tal modo que una vez se cierre la electroválvula 8, la presión de suministro (presión a la entrada 2) no sea transmitida al interior del subsistema 110. El otro regulador de presión 11 está situado entre el canal o conducto "b" y el canal o conducto de salida "g" (que conduce al acople 18), que está ajustado de tal modo que la presión del CO₂ en estado líquido se reduce hasta una presión ligeramente por encima de la del CO₂ en estado gaseoso, satisfaciendo de este modo las condiciones de inyección deseadas. Preferentemente se diseña el regulador de presión 11 para reducir la presión de CO₂ en estado líquido a un rango de 0,6 a 1,8 MPa, más preferentemente a un rango de 0,8 a 1,6 MPa. Por ejemplo, en una realización particular, este regulador de presión 11 se diseña para reducir la presión de CO₂ en estado líquido en la salida 18 a 1,2 MPa aproximadamente. El conducto "b" comunica la electroválvula 7 con el regulador de presión 11, y el conducto "g" comunica el regulador de presión 11 con el acople para inyección 18, con el fin de conectar el dispositivo 100 con el pertinente sistema de inyección de CO₂ en estado líquido. Este sistema de inyección de CO₂ en estado líquido queda fuera del alcance de la presente invención. A modo de ejemplo, puede estar compuesto por un conducto que finalice en una tobera convergente, similar a las utilizadas para el fluido de corte, o en una conexión que comunique con el canal interno de la herramienta de corte a utilizar. El regulador de presión 11 debe ser ajustado de tal modo que la presión de salida esté por encima de la del punto triple del CO₂ (0,511 MPa), preferentemente entre 0,6 y 1,8 MPa, más preferentemente entre 0,8 y 1,6 MPa.

Preferentemente, el subsistema de regulación de CO₂ en estado líquido 110 está dotado de una válvula de seguridad 17 en el conducto "c", que se diseña para suministrar (cono tarada) una presión ligeramente superior (preferentemente por encima de 0,7 MPa, más preferentemente entre 0,8 y 2 MPa; por ejemplo, alrededor de 1,5 MPa) a la presión de trabajo del CO₂ en estado gaseoso con el fin de evitar dañar el sistema en caso de fallo de la válvula antirretorno 16 que conecta los dos canales "c" y "b" o del regulador de presión 4 situado en el canal que contiene CO₂ en estado gaseoso. Es decir, la válvula de seguridad 17 es necesaria para evitar sobrepresión que pueda producirse por causas ajenas al uso normal del dispositivo 100. La presión suministrada por la válvula de seguridad 17 debe ser algo superior a la presión del CO₂ en estado gaseoso; de lo contrario, la válvula 17 se activaría nada más abrir la electroválvula 8 que da paso al CO₂ en estado gaseoso.

Como se muestra en las Figuras 1A-1E, parte del subsistema 110 de suministro de CO₂ en estado líquido se encuentra dentro de la carcasa 30 y parte se encuentra fuera de la carcasa. Así, se encuentran en el exterior de la carcasa 30 las conexiones o acoples 1, 2, utilizados para la entrada al dispositivo de CO₂ líquido y de CO₂ gaseoso, respectivamente, los reguladores de presión 4, 11, las válvulas de despresurizado 13, 14, la válvula de seguridad tarada 17 y la conexión o acople 18 para la inyección por parte del dispositivo de CO₂ líquido (para refrigeración). También se encuentran en el exterior de la carcasa 30 los medios de control 22, comunes a ambos subsistemas. Por el contrario, se encuentran en el interior de la carcasa 30 y protegidos por ella, la electroválvula 7 de CO₂ líquido, la electroválvula 8 de CO₂ gaseoso, las válvulas antirretorno 15, 16, así como los diversos conductos de CO₂ líquido y gaseoso que recorren el subsistema 110 desde sus entradas 1, 2 hasta la salida 18.

El segundo subsistema 120 (encargado de pulverizar el aceite de corte para formar un aerosol de micropartículas de aceite de corte en estado líquido) ha sido desarrollado como una técnica de mínima cantidad de lubricación (MQL) de dos canales, que queda fuera del alcance de la presente invención; por lo que, hasta el momento de ser inyectado a la herramienta o máquina correspondiente, el aceite no es pulverizado mediante una tobera 19 por efecto Venturi. Esto elimina la limitación de longitud de los canales que presentan los sistemas tradicionales de un solo canal, limitación derivada de la condensación de las micropartículas en las paredes de los conductos.

Este subsistema de pulverización de aceite de corte 120 tiene una entrada o acople 3 de aire presurizado a un primer canal o conducto "i" del subsistema 120. Preferentemente, tras esta entrada 3, en el conducto o canal "i" se dispone un regulador de presión 5, que controla la presión a la que es suministrado de aire el subsistema 120. Habitualmente, la entrada o acople de aire presurizado 3 se conecta a un circuito general de aire presurizado, que suele encontrarse a una presión de entre 0,6 y 1 MPa. El regulador de presión 5 se encarga entonces de reducir esta presión. Es decir, el regulador de presión 5 controla la presión del aire que accede al conducto o canal "j", de forma que la presión en el canal "j" sea de alrededor de 0,5 MPa. El subsistema comprende también un depósito 6 para contener un fluido de corte, que accede a un segundo canal o conducto "k" del subsistema 120. Como un experto sabe, un fluido de corte es un producto que comprende uno o más aceites, que se utiliza como lubricante y refrigerante en operaciones de mecanizado por arranque de viruta. El fluido de corte puede tener o no tener agua. También suele llamarse "aceite de corte". En la presente invención, se utiliza un aceite de corte convencional "sin agua", que queda fuera del alcance de la invención. El subsistema tiene también dos electroválvulas 9, 10 que controlan el paso de aire y aceite de corte, respectivamente. La electroválvula 9 que controla el paso de aire se sitúa preferentemente a continuación del regulador de presión 5, es decir, entre los conductos o canales "j" y "f", mientras que la electroválvula 10 que controla el paso de fluido de corte se sitúa preferentemente a continuación del depósito de fluido de corte 6, es decir, entre los conductos o canales "k" y "e". A continuación, los dos canales por los que viajan respectivamente el aire presurizado (canal "f") y el fluido de corte (canal "e") se unen axialmente mediante un acople o conexión 12. Para esta conexión 12, se usa preferentemente un acople en T. Es decir, los conductos "f" y "e" conectan respectivamente las electroválvulas 9, 10 con el acople en T 12. Preferentemente, el conducto "e" elegido está realizado con un material flexible o con materiales flexibles. Más preferentemente, el conducto "e" se fabrica con materiales flexibles poliméricos, tales como teflón, para mitigar las pérdidas de carga al discurrir el aceite por su interior. En cuanto al resto de los conductos del dispositivo

100, estos pueden ser tanto rígidos como flexibles, con tal de que aguanten las presiones de funcionamiento.

El acople 12 tiene dos entradas, preferentemente diseñadas de forma que el conducto "f" se conecta en el acople 12 mediante un racor o acople similar, mientras que el conducto "e" es preferentemente introducido en su interior mediante un acople estanco para evitar la fuga de aire por las paredes de dicha conexión. La Figura 4 ilustra un posible racor 125. En el interior del acople 12, el aire introducido procedente del conducto "f" y el propio conducto "e" son conducidos hacia la salida del acople 12. La salida de este acople o conexión 12 es un canal o conducto coaxial 20 utilizado para conducir aire presurizado y aceite de corte. En una posible realización, este conducto coaxial 20 es una manguera con dos canales coaxiales. Es decir, la manguera 20 está compuesta de un conducto interno – preferentemente flexible – que es rodeado por una pared externa, de tal modo que por el interior pueda fluir el aceite de corte y por el exterior pueda fluir el aire. Este doble conducto coaxial 20 conduce los fluidos hasta una tobera 19, situada en el extremo del conducto coaxial 20. La tobera 19, por efecto Venturi, pulveriza el aceite transportado desde el depósito de aceite 6, formando micropartículas de aceite pulverizado. Por tanto, la tobera 19 suministra como salida aire presurizado con aceite pulverizado.

Preferentemente, la salida del acople 12 comprende un racor 125 como el mostrado en la Figura 4, que conecta el acople 12 con la manguera 20, de tal modo que el aire rodee de forma coaxial el conducto de aceite "e", que queda por tanto en el interior del racor 125. En la vista transversal de la derecha de la Figura 4, se muestra el canal de aceite "e" rodeado de forma coaxial por el conducto o canal 127 que lleva aire.

Por último, la manguera o conducto de salida 20 está conectada en un extremo al racor 125 de la salida del acople 12 y en el extremo está provista de una tobera 19, como la tobera MQL ilustrada en la Figura 5. La Figura 5 muestra a la izquierda una vista longitudinal de la tobera 19 y el lado derecho muestra una vista transversal (frontal) de la tobera 19.

Como se muestra en las Figuras 1A-1E, parte del sistema de pulverización de aceite 120 se encuentra dentro de la carcasa 30 y parte se encuentra en el exterior de la carcasa. Así, se encuentran en el exterior de la carcasa 30 la conexión o acople 3, utilizado para la entrada al dispositivo de aire presurizado, el depósito 6 de aceite de corte, el regulador de presión 5 y la conexión o tobera MQL 19. Por el contrario, se encuentran en el interior de la carcasa 30 y protegidos por ella, la electroválvula 9 de aire, la electroválvula 10 de aceite de corte, la conexión o acople 12 y la manguera 20 que conecta el acople 12 con la tobera 19.

Cuando este subsistema 120 entra en funcionamiento, se abre la electroválvula 9 situada entre el conducto o canal "j" y el conducto o canal "f", por los que circula aire e instantáneamente se abre también la electroválvula 10 situada entre el conducto o canal "k" y el conducto o canal "e" por los que circula aceite de corte. Sin embargo, esta última electroválvula 10 se abre de forma intermitente, es decir, está continuamente cambiando de estado con una frecuencia que determinará el caudal de aceite de corte inyectado. De esta forma, el caudal de aceite de corte que accede por el conducto o canal "e" al acople o conexión 12 y, por tanto, a la tobera 19, se controla por pulsos. Con este método de control por pulsos, se evita utilizar válvulas y frecuenciadores neumáticos que poseen los sistemas MQL tradicionales de dos canales; de este modo, el control del caudal de aceite de corte es más exhaustivo.

Para el correcto funcionamiento del dispositivo 100, este debe ser suministrado con CO₂ en estado líquido a través de la entrada o acople 1 correspondiente, con CO₂ en estado gaseoso a través de la entrada o acople 2 correspondiente y con aire presurizado a través de la entrada o acople 3 correspondiente. Además, el depósito 6 debe contener un fluido de corte susceptible de ser pulverizado. En una posible realización, el fluido de corte es aceite de corte con una viscosidad cinemática a 20 °C aproximada de 88 mm²/s y una densidad de 0,92 g/cm³. En una posible realización, las entradas o acoples 1, 2 y 3 son racores. Alternativamente, las entradas o acoples 1, 2 y 3 se implementan mediante cualquier sistema de conexión que sirva para comunicación entre los correspondientes conductos de suministro y los propios componentes del dispositivo. La presión con la que el CO₂ en estado gaseoso es introducido (por la entrada 2 al conducto "d") debe ser superior a la presión a la que se encuentra el punto triple (0,511 MPa). Preferentemente, el CO₂ en estado gaseoso en el conducto "d" está aproximadamente a una presión de entre 4,5 y 6 MPa. La presión de entrada por el conducto "a" del CO₂ en estado líquido debe ser como mínimo ligeramente superior a la presión del CO₂ en estado gaseoso, para la optimización de la capacidad de refrigeración del CO₂ en estado líquido una vez sea inyectado en la zona de corte. Preferentemente, la presión de entrada de CO₂ líquido por el conducto "a" varía entre 4,5 y 6 MPa, en función de cómo de lleno esté el recipiente o botella de CO₂ en estado líquido que suministra el fluido al conducto "a" a través del acople 1.

Por último, la presión del aire con el que es suministrado el subsistema MQL (subsistema 120) a través del acople 3 está preferentemente entre 0,1 y 1 MPa, con el fin de provocar en la tobera 19 la suficiente depresión por efecto Venturi para arrastrar el aceite de corte contenido en el depósito 6. En una realización más preferente, se elige una presión en los conductos "j" y "f" de alrededor de 0,5 MPa como presión óptima.

En realizaciones de la invención, la entrada o acople 1 está conectado a la electroválvula 7 directamente mediante el conducto "a". Sin embargo, los acoples o entradas 2 y 3 se conectan previamente a sus correspondientes reguladores de presión 4 y 5 y estos a su vez se conectan a sus correspondientes electroválvulas 8 y 9. Finalmente, el depósito 6 se conecta a la electroválvula 10, la cual se recomienda instalar en la parte inferior del depósito. Alternativamente, la

electroválvula 10 puede disponerse en otra localización del depósito.

El equipo es controlado en su totalidad por medios de control 22, implementados preferentemente por un PLC, preferentemente programado según el algoritmo descrito en la Figura 2. Gracias a este algoritmo se pueden gobernar las cuatro electroválvulas 7, 8, 9 y 10 de acuerdo con las necesidades de funcionamiento. Permite utilizar la tecnología de refrigeración criogénica y mínima cantidad de lubricación tanto de forma combinada como independiente y puede utilizarse para controlar el caudal de aceite o cualquier otro fluido de corte utilizado durante la micropulverización.

El algoritmo de control de la Figura 2 se implementa como sigue: Una vez iniciado (40) el algoritmo, hay que decidir (41) si activar el subsistema MQL o no (es decir, el subsistema 120). Es decir, hay que decidir si se va a inyectar fluido de corte micropulverizado o no. Si en esta etapa (41) se decide que sí se va a activar el subsistema 120, se activa (42) la electroválvula 9 y a continuación se activa (43) la electroválvula 10. Entonces se interroga (44) para saber si debe modificarse el caudal de fluido de corte. En caso afirmativo, se modifica (45) el caudal de fluido de corte y se sigue interrogando (44), hasta que no sea preciso modificar el caudal de fluido de corte. Entonces se vuelve a interrogar (46), para decidir si se debe desconectar el subsistema 120. En caso negativo, vuelve a ejecutarse la interrogación (44) para saber si debe modificarse el caudal de fluido de corte. Si, por el contrario, se debe desconectar el subsistema 120, se desactiva (47) la electroválvula 10 y a continuación se desactiva (48) la electroválvula 9. Entonces el algoritmo vuelve a interrogar (41) para saber si se debe activar o no el subsistema 120.

Si, por el contrario, en esa etapa (41) se decide que no se va a activar el subsistema 120, entonces el algoritmo interroga (51) para decidir si se va a activar el sistema criogénico solo (es decir, el subsistema 110) o no. Si en esta etapa (51) se decide que se va a activar el subsistema 110 solo, se activa (52) la electroválvula 8 y a continuación se procede a presurizar (53) los conductos. Seguidamente se activa (54) la electroválvula 7. Entonces se vuelve a interrogar (55) para decidir si se debe desconectar el subsistema 110. En caso negativo, vuelve a ejecutarse la interrogación (55) por si la decisión fuese diferente. Si, por el contrario, se debe desconectar el subsistema 110, se desactiva (56) la electroválvula 7 y a continuación se procede a la eliminación (57) del CO₂ líquido y se desactiva (58) la electroválvula 8. Entonces el algoritmo vuelve a interrogar (51) para saber si se debe activar o no el subsistema 110 solo.

Si en esta etapa (51) se decide que no se va a activar el subsistema 110, entonces el algoritmo interroga (61) para decidir si se va a activar simultáneamente el subsistema criogénico (es decir, el subsistema 110) y el subsistema 120. Si en esta etapa (61) se decide que se van a activar los dos subsistemas 110 y 120, se activan (62) las electroválvulas 9, 8 y a continuación se procede a presurizar (63) los conductos. Seguidamente se activan (64) las electroválvulas 7, 10. Entonces se interroga de nuevo (65) para decidir si se debe desconectar los dos subsistemas 110, 120. En caso negativo, se interroga de nuevo (69) para saber si debe modificarse el caudal del fluido de corte. En caso afirmativo, se modifica (70) el caudal de fluido de corte y se sigue interrogando (69), hasta que no sea preciso modificar el caudal del fluido de corte. Entonces se vuelve a interrogar (65), para decidir si se debe desconectar los dos subsistemas 110 y 120. En caso afirmativo, se desactivan (66) las electroválvulas 7, 10, seguidamente se procede a la eliminación (67) de CO₂ líquido y a continuación se desactivan (68) las electroválvulas 9, 8. Entonces el algoritmo vuelve a interrogar (61) para saber si se debe activar o no simultáneamente los dos subsistemas 110, 120. En caso negativo, se finaliza (71) el algoritmo.

Es decir, como puede apreciarse en el algoritmo esquematizado en la Figura 2, el dispositivo 100 es capaz de hacer funcionar los dos subsistemas 110, 120 simultáneamente (etapa 61), o hacer funcionar solo el subsistema 120 (etapa 41) o hacer funcionar solo el subsistema 110 (etapa 51). Por ejemplo, los dos subsistemas 110, 120 pueden funcionar de forma alternada.

El dispositivo 100 es portátil y puede ser instalado de forma totalmente "plug&play", tanto en máquinas-herramienta nuevas como ya existentes y ser utilizado en cualquiera de las principales operaciones de mecanizado. El dispositivo 100 es totalmente independiente de la máquina.

Por otra parte, la invención no está limitada a las realizaciones concretas que se han descrito, sino que abarca también, por ejemplo, las variantes que pueden ser realizadas por el experto en la materia (por ejemplo, en cuanto a la elección de materiales, dimensiones, componentes, configuración, etc.), dentro de lo que se desprende de las variantes reivindicadas.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo (100) para la refrigeración y la lubricación de una herramienta durante un proceso de mecanizado por arranque de esquirla, que comprende:

- un primer subsistema (110) de refrigeración criogénica, que comprende: una primera entrada (1) configurada para introducir CO₂ en estado líquido en un primer conducto (a) del dispositivo (100); una primera salida (18) configurada para suministrar CO₂ en estado líquido desde un segundo conducto (g) del dispositivo (100); un tercer conducto (b) situado entre dichos primer conducto (a) y segundo conducto (g); y medios (2, 7, 8, 4, 11, 15, 16, 13, 14 d, h, c) para evitar la formación de hielo seco en dichos primer, segundo y tercer conductos (a, g, b), implementándose dichos medios (2, 7, 8, 4, 11, 13, 14, 15, 16, d, h, c) para evitar la formación de hielo seco en dichos primer, segundo y tercer conductos (a, g, b) mediante medios para presurizar dichos primer, segundo y tercer conductos (a, g, b) por encima del punto triple del CO₂ antes de la inyección del CO₂ en estado líquido a través de la salida (18), en donde dichos medios para presurizar dichos primer, segundo y tercer conductos (a, g, b) por encima del punto triple del CO₂ comprenden una segunda entrada (2) configurada para introducir CO₂ en estado gaseoso en un cuarto conducto (d) del dispositivo (100); un quinto conducto (h) situado a continuación de dicho cuarto conducto (d); una primera electroválvula (7) configurada para controlar el paso de CO₂ en estado líquido entre el primer conducto (a) y el tercer conducto (b); una segunda electroválvula (8) configurada para controlar el paso de CO₂ en estado gaseoso entre el quinto conducto (h) y un sexto conducto (c); una primera válvula antirretorno (15) dispuesta para comunicar dichos primer conducto (a) y tercer conducto (b), de forma que cuando dicha primera electroválvula (7) está cerrada, se permite el paso de CO₂ en estado gaseoso desde el tercer conducto (b) hacia el primer conducto (a) antes de la introducción del CO₂ en estado líquido a través de la primera entrada (1); y una segunda válvula antirretorno (16) dispuesta para comunicar dichos tercer (b) y sexto conductos (c), de forma que cuando dicha segunda electroválvula (8) está abierta, se permite la circulación del CO₂ en estado gaseoso desde el sexto conducto (c) hacia la primera electroválvula (7), pero no a la inversa, impidiendo el avance de CO₂ en estado líquido hacia la segunda electroválvula (8);

- un segundo subsistema (120) de lubricación, que comprende medios (3, 5, 6, 9, 10, 12, 19, i, j, f, k, e, 20) para suministrar micropartículas de un aceite de corte en estado líquido;

siendo dichos primer subsistema (110) y segundo subsistema (120) independientes entre sí, y estando dichos primer subsistema (110) y segundo subsistema (120) configurados para funcionar ya sea ambos de forma simultánea o solamente uno de los dos (110, 120).

2. El dispositivo (100) de la reivindicación 1, en donde dichos medios para presurizar dichos primer, segundo y tercer conductos (a, g, b) por encima del punto triple del CO₂ comprenden además una primera llave de paso (13) colocada en el primer conducto (a) y una segunda llave de paso (14) colocada en el cuarto conducto (d), configuradas para despresurizar el primer subsistema (110) en caso de que sea necesario.

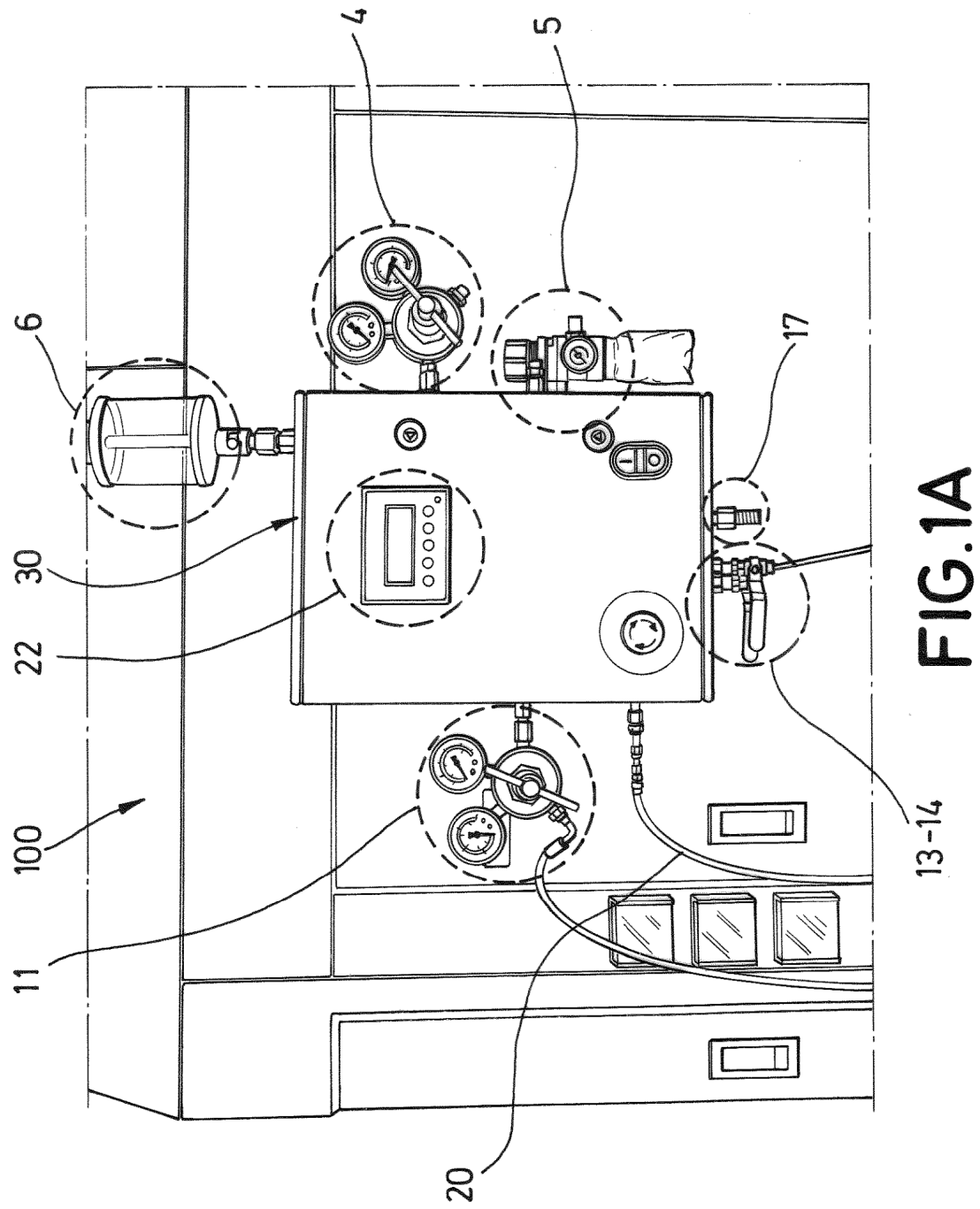
3. El dispositivo (100) de cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, en donde dichos medios para presurizar dichos primer, segundo y tercer conductos (a, g, b) por encima del punto triple del CO₂ comprenden además un primer regulador de presión (11) de CO₂ en estado líquido y un segundo regulador de presión (4) de CO₂ en estado gaseoso, estando colocado dicho primer regulador de presión (11) entre el tercer (b) y segundo (g) conductos; y estando colocado dicho segundo regulador de presión (4) entre dichos cuarto (d) y quinto (h) conductos.

4. El dispositivo (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además medios de control (22) configurados para controlar tanto el primer subsistema (110) como el segundo subsistema (120).

5. Un método de funcionamiento de un dispositivo (100) para la refrigeración y la lubricación de una herramienta durante un proceso de mecanizado por arranque de esquirla, en donde dicho dispositivo (100) comprende un primer subsistema (110) de refrigeración criogénica, que comprende:

una primera entrada (1) configurada para introducir CO₂ en estado líquido en un primer conducto (a) del dispositivo (100); una primera salida (18) configurada para suministrar CO₂ en estado líquido desde un segundo conducto (g) del dispositivo (100); un tercer conducto (b) situado entre dichos primer (a) y segundo conducto (g); y medios (2, 7, 8, 4, 11, 13, 14, 15, 16, d, h, c) para evitar la formación de hielo seco en dichos primer, segundo y tercer conductos (a, g, b); y un segundo subsistema (120) de lubricación, que comprende medios (3, 5, 6, 9, 10, 12, 19, i, j, f, k, e, 20) para suministrar micropartículas de un aceite de corte en estado líquido; en donde dichos medios (2, 7, 8, 4, 11, 13, 14, 15, 16, d, h, c) para evitar la formación de hielo seco comprenden medios para presurizar dichos primer, segundo y tercer conductos (a, g, b) por encima del punto triple del CO₂, en donde dichos medios para presurizar dichos primer, segundo y tercer conductos (a, g, b) comprenden: una segunda entrada (2) configurada para introducir CO₂ en estado gaseoso en un cuarto conducto (d) del dispositivo (100); un quinto conducto (h) situado a continuación de dicho cuarto conducto (d); una primera electroválvula (7) configurada para controlar el paso de CO₂ en estado líquido entre el primer conducto (a) y el tercer conducto (b); una segunda electroválvula (8) configurada para controlar el paso de CO₂ en estado gaseoso entre el quinto conducto (h) y un sexto conducto (c); una primera válvula antirretorno (15) colocada para comunicar dichos primer conducto (a) y tercer conducto (b); y una segunda válvula antirretorno (16) colocada para comunicar dichos tercer conducto (b) y sexto conducto (c); y en donde dichos medios (3, 5, 6, 9, 10, 12, 19, i, j, f, k, e, 20) para suministrar micropartículas de un aceite de corte en estado líquido, comprenden: una tercera entrada

- (3) configurada para introducir aire presurizado en un séptimo conducto (f) del dispositivo (100); un depósito (6) configurado para suministrar aceite de corte en estado líquido a través de un octavo conducto (e); una tercera electroválvula (9) configurada para controlar el paso de aire presurizado en el séptimo conducto (f); una cuarta electroválvula (10) para controlar el paso de aceite de corte en el octavo conducto (e); un acople (12) diseñado para unir dichos séptimo conducto (f) y octavo conducto (e) en un único noveno conducto (20) y una tobera (19) colocada en el extremo de salida de dicho noveno conducto (20), estando dicha tobera (19) configurada para, por efecto Venturi, pulverizar el aceite de corte para ser inyectado, comprendiendo el método las siguientes etapas para la inyección de CO₂ en estado líquido a través del acople (18):
- 10 - apertura de la segunda electroválvula (8) para controlar el paso de CO₂ en estado gaseoso entre el quinto conducto (h) y el sexto conducto (c);
 - presurización de los primer, segundo y tercer conductos (a, g, b) por encima del punto triple del CO₂;
 - apertura de la primera electroválvula (7) que controla el paso de CO₂ en estado líquido entre el primer conducto (a) y el tercer conducto (b);
 - 15 - inyección de CO₂ en estado líquido a través de la primera salida (18).
6. El método de la reivindicación 5, que comprende las siguientes etapas para interrumpir la inyección de CO₂ en estado líquido a través de la primera salida (18):
- 20 - cierre de la primera electroválvula (7) que controla el paso de CO₂ en estado líquido;
 - barrido de al menos los segundo y tercer conductos de CO₂ en estado líquido (b, g) mediante la inyección de CO₂ en estado gaseoso presurizado por encima del punto triple;
 - cierre de la segunda electroválvula (8) de control de CO₂ en estado gaseoso.
- 25 7. El método de cualquiera de las reivindicaciones 5 o 6, que comprende las siguientes etapas para la inyección simultánea de CO₂ en estado líquido y un aerosol formado por micropartículas de un aceite de corte en estado líquido:
- apertura de la segunda electroválvula (8) para controlar el paso de CO₂ en estado gaseoso y apertura de la tercera electroválvula (9) que controla el paso de aire presurizado hacia el séptimo conducto (f);
 - 30 - presurización de los primer, segundo y tercer conductos (a, g, b) por encima del punto triple del CO₂;
 - apertura de la primera electroválvula (7) que controla el paso de CO₂ en estado líquido y apertura de la cuarta electroválvula (10) que controla el paso del aceite de corte.
- 35 8. El método de la reivindicación 7, que comprende las siguientes etapas para interrumpir la inyección simultánea de CO₂ en estado líquido y un aerosol formado por micropartículas de lubricante en estado líquido:
- cierre de la primera electroválvula (7) que controla el paso de CO₂ en estado líquido y cierre de la cuarta electroválvula (10) que controla el paso del aceite de corte;
 - 40 - barrido de al menos los segundo y tercer conductos de CO₂ en estado líquido (b, g) mediante la inyección de CO₂ en estado gaseoso presurizado por encima del punto triple;
 - cierre de la segunda electroválvula (8) para controlar el paso de CO₂ en estado gaseoso y cierre de la tercera electroválvula (9) que controla el paso de aire presurizado.



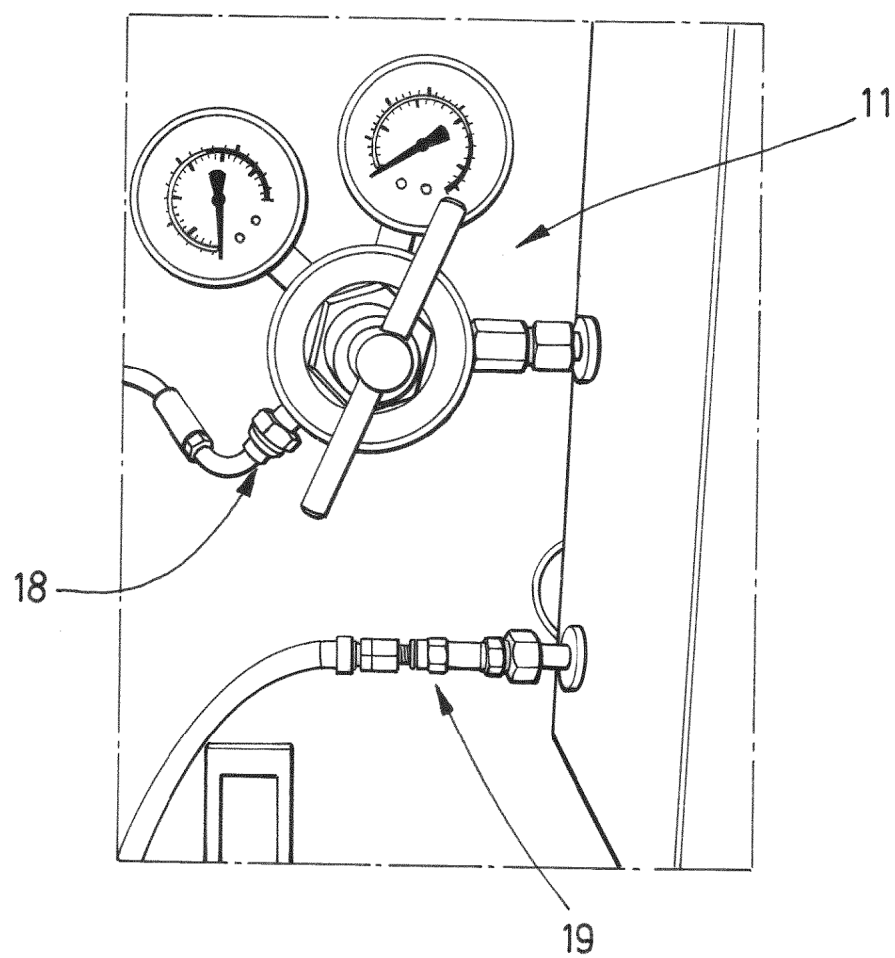


FIG.1B

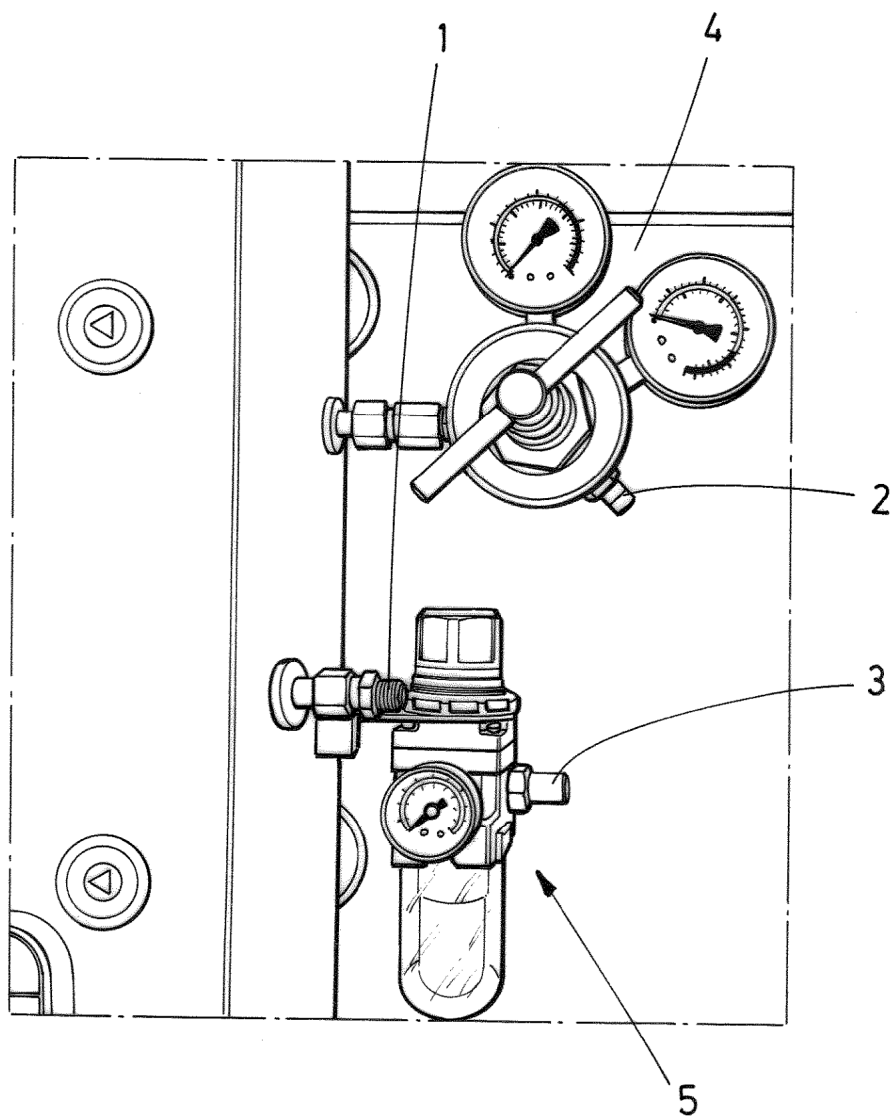


FIG.1C

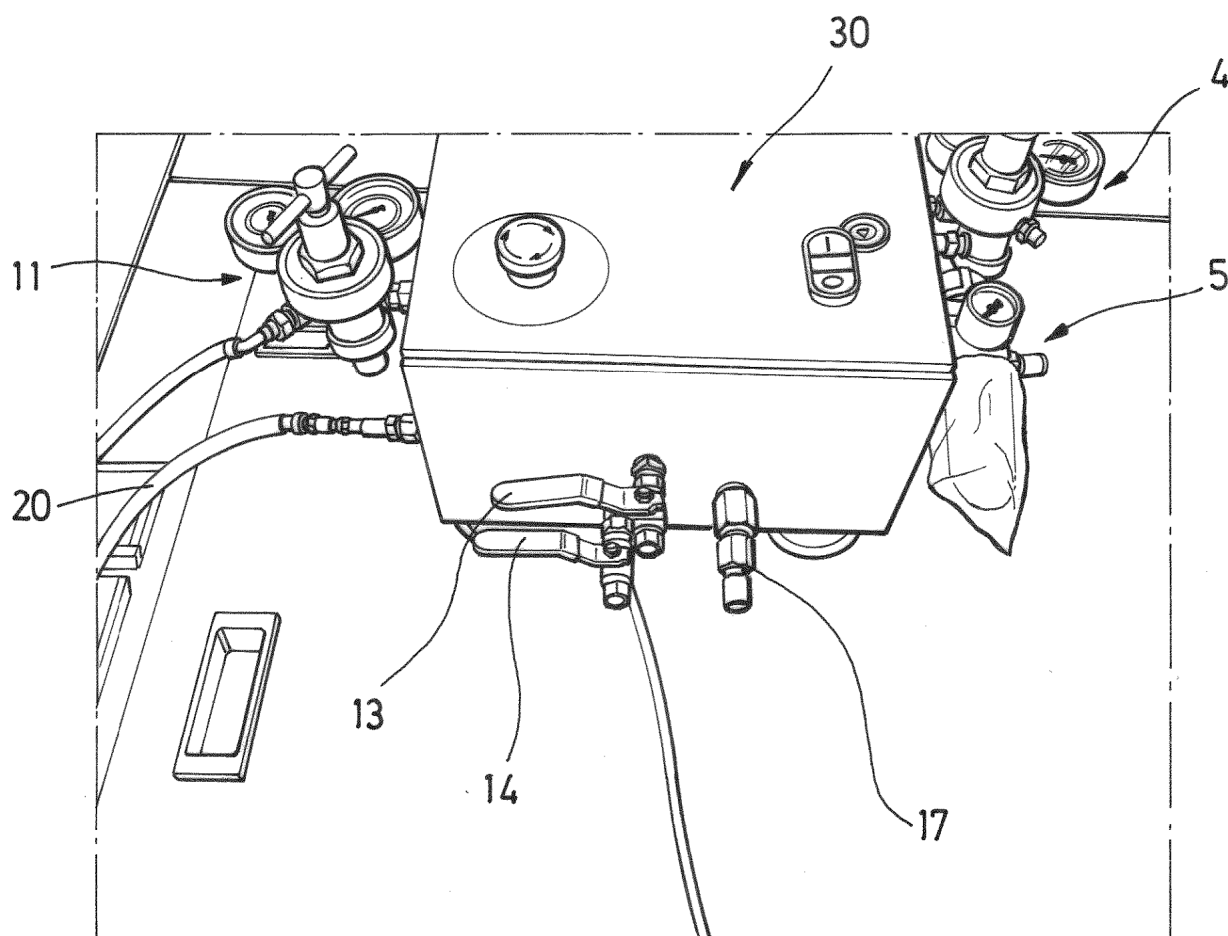


FIG.1D

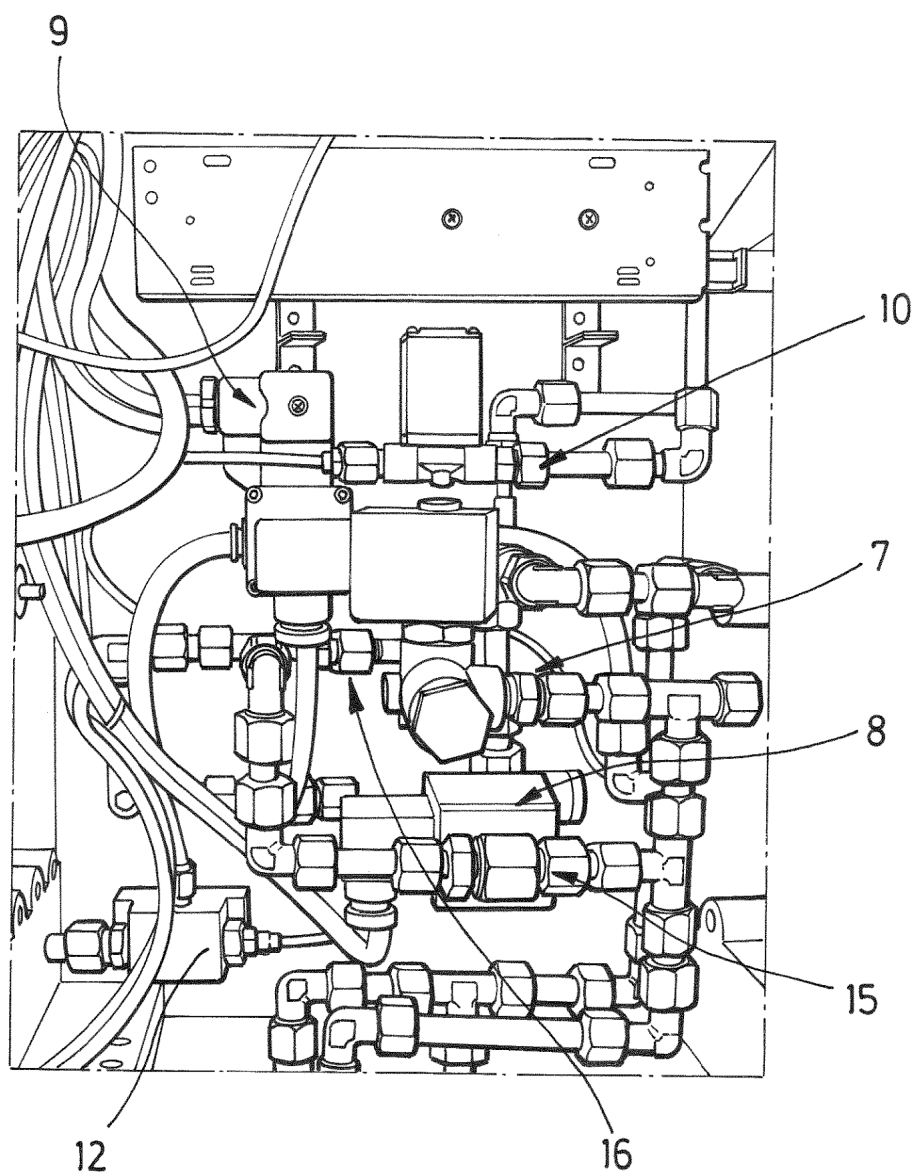


FIG.1E

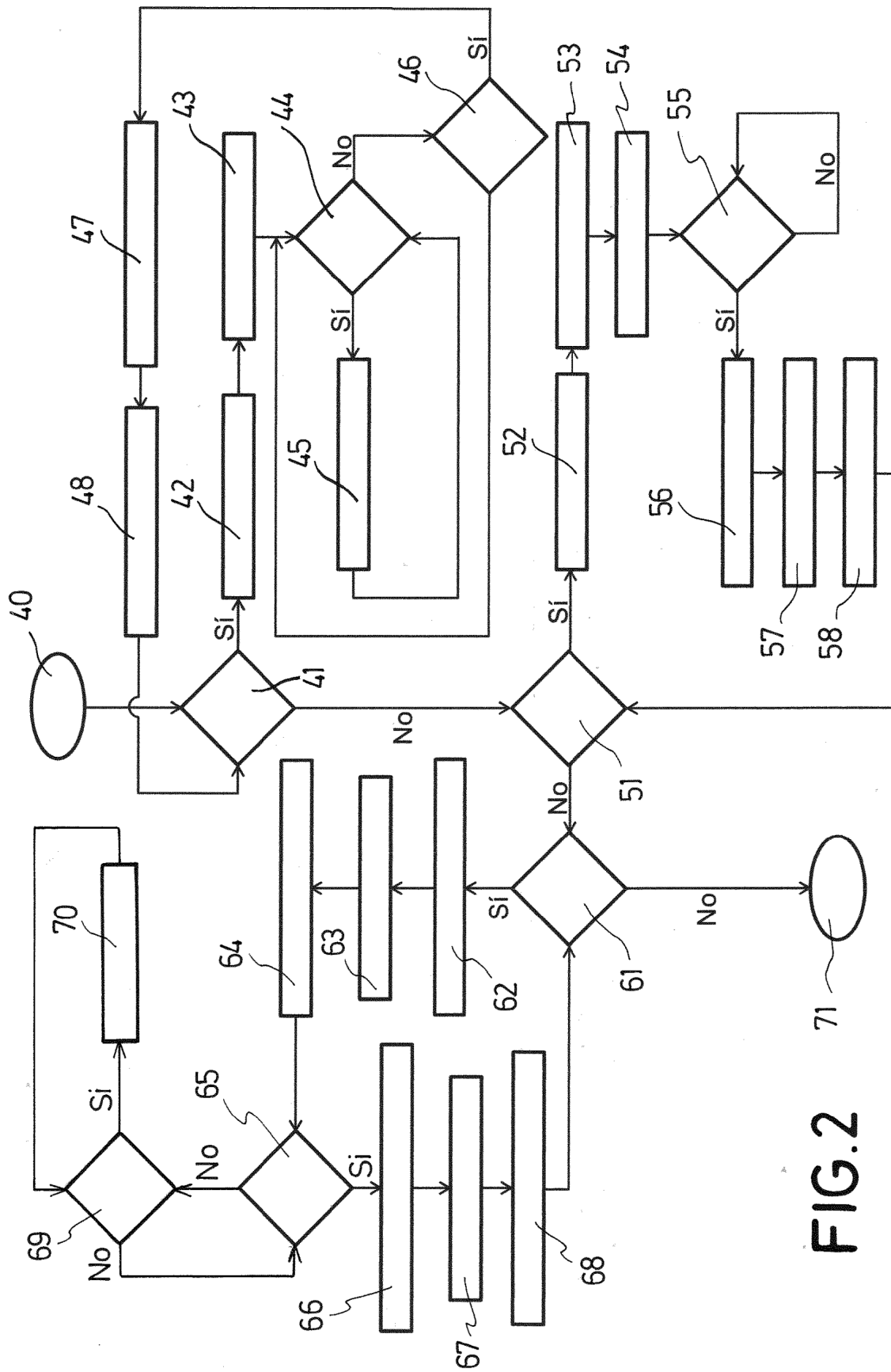


FIG. 2

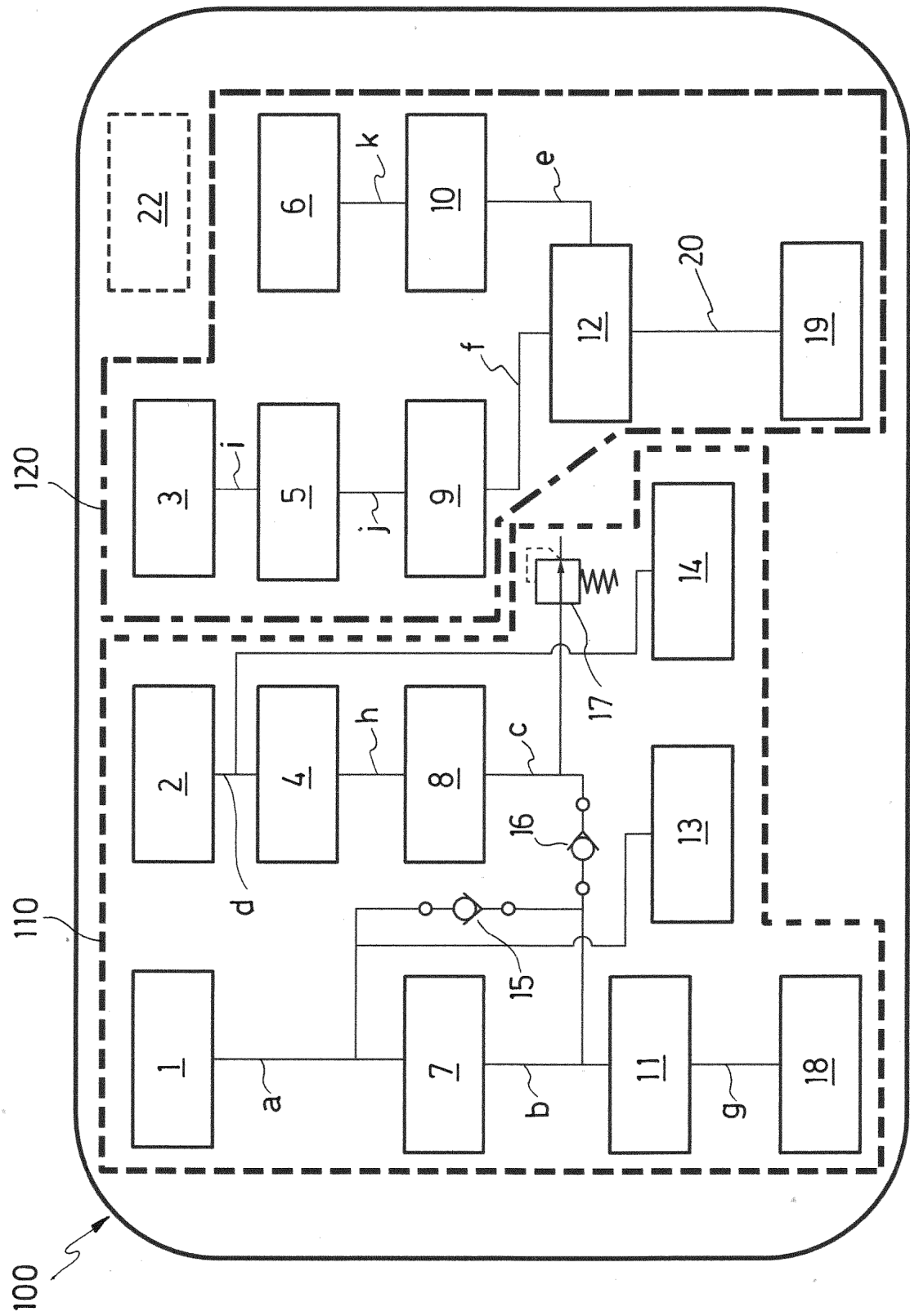


FIG. 3.

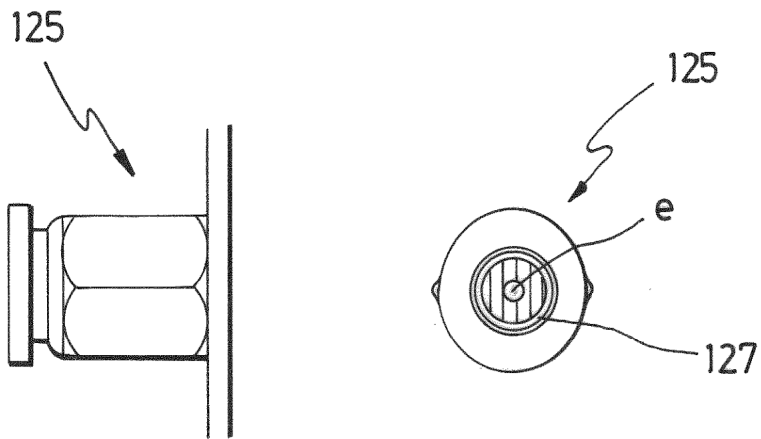


FIG.4

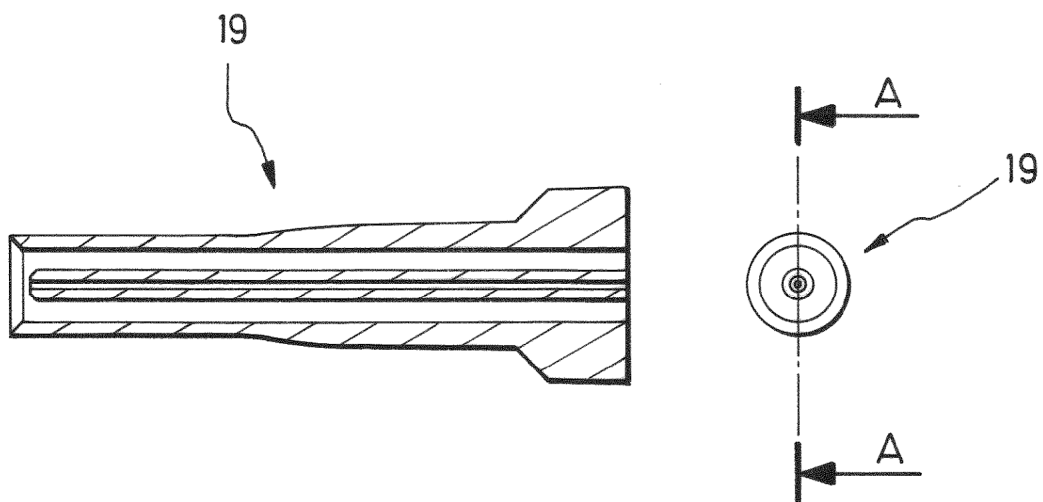


FIG.5

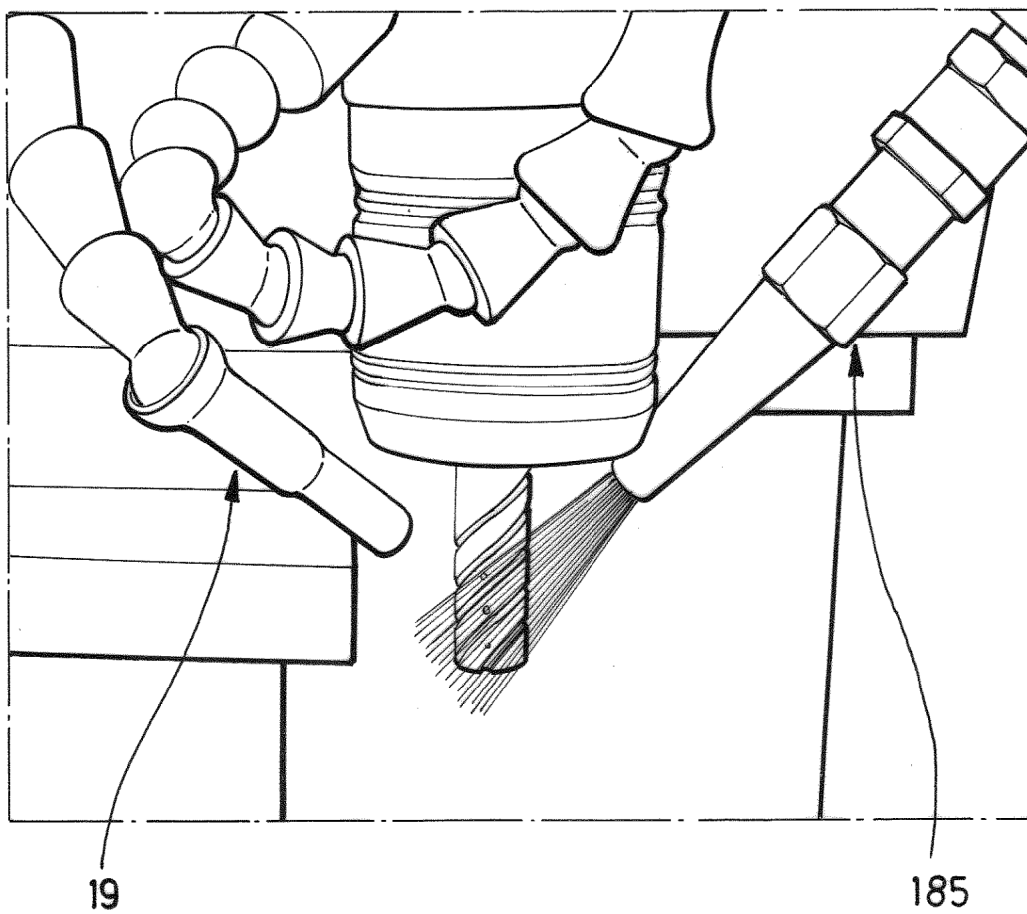


FIG.6

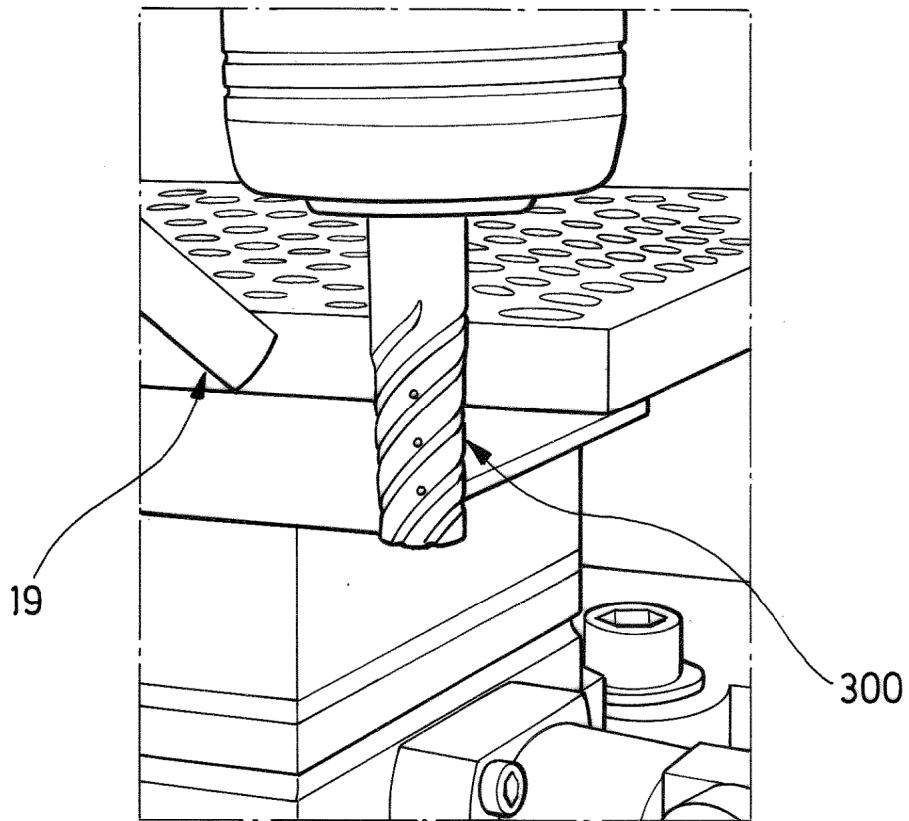


FIG. 7A

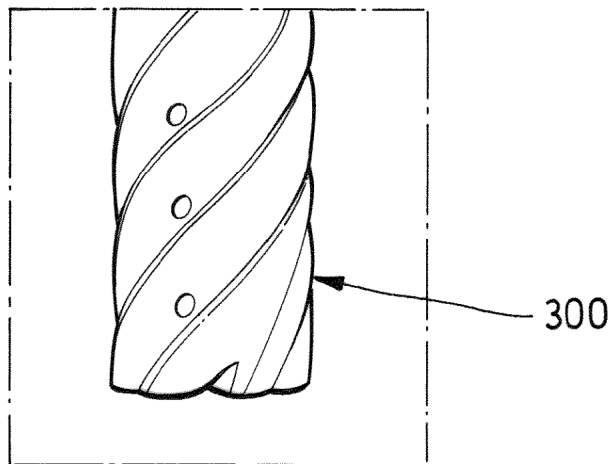


FIG. 7B