

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 437 445**

51 Int. Cl.:

B23B 27/10 (2006.01)
B23B 27/16 (2006.01)
B23B 51/06 (2006.01)
B23C 5/20 (2006.01)
B23C 5/22 (2006.01)
B23C 5/28 (2006.01)
B23Q 11/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.04.2010 E 10797467 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.10.2013 EP 2416914**

54 Título: **Enfriamiento indirecto de una herramienta de corte**

30 Prioridad:

06.04.2009 US 418688

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

10.01.2014

73 Titular/es:

**CREATE INC. (100.0%)
16 Great Hollow Road
Hanover, NH 03755, US**

72 Inventor/es:

**ROZZI, JAY CHRISTOPHER;
CHEN, WEIBO y
ARCHIBALD, EVERETT EDGAR, JR.**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 437 445 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

Enfriamiento indirecto de una herramienta de corte

5 Campo

El dispositivo descrito, de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1, es un sistema de enfriamiento indirecto para la interfaz de la herramienta-viruta que utiliza un intercambiador de calor de micro-canales instalado en el soporte de la herramienta para extraer una porción de la energía térmica generada durante el mecanizado.

10 Antecedentes

Tal dispositivo que comprende un sistema de enfriamiento indirecto es generalmente conocido por el documento EP 0 842 722 A1, por el documento EP 1 637 257 A1, por el documento EP 1 199 126 A1, por el documento US 4.757.307 y por el documento US 5.799.553. Los fluidos de corte se han utilizado en los procesos de mecanizado durante muchos años para aumentar la lubricidad mediante la pulverización del líquido refrigerante en la zona de mecanizado directamente en la herramienta de corte y la pieza. Esto tiene el efecto de disminuir la fricción entre la viruta y la herramienta, que a su vez disminuye la temperatura de la herramienta, aumenta la vida útil de la herramienta, y mejora la calidad de la pieza. Estos beneficios vienen con algunos inconvenientes. En las operaciones de mecanizado de alto volumen, al menos 16 % del coste de mecanizado está asociado con la obtención, mantenimiento y eliminación de los fluidos de corte. Este coste no tiene en cuenta los riesgos para la salud a los se exponen los trabajadores al utilizar estos fluidos. El contacto con los fluidos de corte o sus vapores pueden causar enfermedades tales como la dermatitis y enfermedades respiratorias. Algunos aditivos en los fluidos de corte pueden ser cancerígenos.

En los últimos años, a causa de estos problemas, la industria del mecanizado de alto volumen se ha movido hacia el mecanizado en seco para reducir o eliminar el uso de fluidos de corte. Sin embargo, el mecanizado en seco aumenta el consumo de combustibles fósiles y de energía porque se necesitan máquinas más grandes y potentes para procesar el material menos resbaladizo. El mecanizado en seco aumenta también los costes por parte al consumir más herramientas de corte y requiriendo más tiempo de mecanizado. El problema se agrava cuando el mecanizado de titanio y de otros materiales de baja conductividad térmica ya que el calor producido en la interfaz de herramienta-viruta no se realiza fácilmente lejos de la interfaz por el propio material. Adicionalmente, el mecanizado en seco no es factible para sitios comerciales relativamente pequeños, en los que el capital para nuevas máquinas a menudo no está disponible.

Esfuerzos de investigación y las patentes anteriores se han centrado en enfriar interna o externamente el soporte de herramienta de corte, pulverizando nitrógeno líquido en la zona de mecanizado, utilizando refrigerantes de alta presión, y en la integración de un depósito similar a una tapa en la parte superior del inserto de herramienta de corte que se enfría con nitrógeno líquido.

El enfriamiento interno y externo de la herramienta de corte se ha probado experimentalmente utilizando tubos de calor. Se ha logrado algún grado de enfriamiento, pero la eficiencia de transferencia de calor del diseño es muy baja. No se hicieron mediciones de la reducción del desgaste en el flanco de la herramienta de corte, posiblemente debido al bajo rendimiento del sistema en la mesa de trabajo.

Pulverizar un chorro de nitrógeno líquido en la zona de mecanizado ha demostrado ser un medio eficaz para enfriar la herramienta de corte, pero una gran cantidad de nitrógeno líquido se utiliza en el proceso debido a la relativamente baja eficiencia de transferencia de calor de este enfoque. Esto aumenta el impacto medioambiental del chorro de nitrógeno líquido por dos razones. En primer lugar, se requiere un sistema de ventilación para eliminar las grandes cantidades de vapor de nitrógeno creadas durante el proceso de enfriamiento. En segundo lugar, la energía eléctrica necesaria para producir la gran cantidad de nitrógeno líquido utilizada por este método de enfriamiento requiere de más combustibles fósiles y, correspondientemente, aumenta la contaminación.

El uso de chorros de refrigerantes de alta presión para reducir el desgaste de la herramienta se ha investigado también. Un enfoque de este tipo puede disminuir efectivamente el desgaste de la herramienta, pero tiene varios inconvenientes. En primer lugar, los chorros de líquido refrigerante a presión requieren el uso de un gran compresor que consume energía eléctrica, lo que aumenta el coste y el impacto medioambiental del proceso. En segundo lugar, los chorros se deben aplicar en ubicaciones particulares en el inserto de herramienta de corte. Esto requiere un posicionamiento preciso y repetible del chorro de pequeño diámetro, alta presión en relación con el inserto de herramienta de corte. Este enfoque no es factible en un ambiente de producción, en el que la sobrecarga asociada con la gestión del chorro de líquido a alta presión aumenta rápidamente el tiempo de mecanizado y los costes. En tercer lugar, los chorros de alta presión requieren caudales de líquido que son de una a tres órdenes de magnitud mayores al enfriamiento indirecto de la interfaz de la herramienta-viruta como se describe en el presente documento. Este hecho aumenta drásticamente el coste y el impacto ambiental del uso de chorros de alta presión.

Otro enfoque consiste en la integración de un depósito similar a una tapa enfriado con nitrógeno líquido en la parte superior del inserto de herramienta de corte, y se ha demostrado que esto disminuye el desgaste de la herramienta. Esta disposición tiene una eficiencia de transferencia de calor relativamente baja, sin embargo, y como consecuencia los caudales necesarios hay de dos a tres órdenes de magnitud mayores que el método que se da a conocer en el presente documento. Debido a que el depósito está situado en la parte superior del inserto de herramienta de corte, el dispositivo es difícil de utilizar en un ambiente de producción. Con el fin de incidir o cambiar el inserto, el operario tiene que quitar y volver a colocar el depósito, que está a temperaturas criogénicas. Estas operaciones requieren una formación especial, aumentando los costes, y aumenta los riesgos para la salud de los operarios. Por estas razones, es poco probable que un sistema de este tipo se utilice en un ambiente de producción.

Sumario

Como se describe a continuación, una herramienta de corte se enfría indirectamente utilizando caudales muy pequeños de un refrigerante criogénico tal como, nitrógeno líquido como un fluido de trabajo. Como se utiliza en el presente documento, el término criogénico o criógeno se refiere a un líquido, tal como nitrógeno líquido, que hierve a una temperatura por debajo de aproximadamente 110K (-160 °C) y se utiliza para obtener temperaturas muy bajas. La principal ventaja de utilizar un líquido criogénico en esta aplicación es el uso del calor latente de vaporización del criógeno como un medio para eliminar el calor de la interfaz de herramienta-viruta. En contraposición a la transferencia de calor sensible, donde cualquier ganancia de calor por un fluido monofásico se acompaña de un aumento de temperatura, la transferencia de calor latente utiliza el cambio de fase isotérmica de un líquido saturado a vapor como un medio para absorber el calor. Este enfoque elimina los problemas ambientales y de salud ocupacional planteados por los fluidos de corte tradicionales, y permite que talleres de máquinas pequeños y grandes eliminen el uso de fluidos de corte ambientalmente hostiles, potencialmente tóxicos, y costosos. Además, el enfriamiento indirecto utiliza un caudal para el fluido de trabajo que es varios órdenes de magnitud menores que los métodos de enfriamiento directos, tales como el choque del chorro de refrigerante de mecanizado o del nitrógeno líquido u otros criógenos utilizados en la técnica anterior. El enfriamiento indirecto disminuye el impacto medioambiental de las operaciones de mecanizado, mientras que al mismo tiempo, disminuye los costes de producción.

El enfriamiento indirecto utiliza un intercambiador de calor de micro-canales que se coloca detrás del elemento de corte y utiliza nitrógeno líquido como el fluido de trabajo. En comparación con los tubos de calor, el enfriamiento indirecto tiene una eficiencia de transferencia de calor muy elevada, y proporciona un menor desgaste de la herramienta y menores costos de producción de piezas.

En comparación con la pulverización de nitrógeno en la zona de enfriamiento, el enfriamiento indirecto del elemento de corte utiliza de dos a tres órdenes de magnitud menos que el nitrógeno debido a su alta eficiencia de transferencia de calor. Por lo tanto, el impacto ambiental de la producción de nitrógeno líquido es muy pequeño en comparación con chorro de enfriamiento con nitrógeno líquido o con el enfriamiento por inundación tradicional con un refrigerante de mecanizado típico. Adicionalmente, el enfriamiento indirecto del elemento de corte permite que la tecnología clave se incluya en la herramienta y aumente la facilidad de uso y la asequibilidad del sistema en un ambiente de producción.

Breve descripción de las figuras del dibujo

La Figura 1 muestra un soporte e inserto de herramienta de la técnica anterior para una herramienta no giratoria.

La Figura 2 es una vista ampliada del extremo de un soporte de herramienta con un inserto que tiene enfriamiento indirecto.

La Figura 3 es una vista en detalle del interior de un intercambiador de calor que se monta bajo el inserto de Figura 2.

La Figura 4 muestra la parte inferior de la placa de cubierta para el intercambiador de calor que se muestra en la Figura 2, y es una vista superior del extremo del soporte de herramienta con la placa de cubierta en posición en el intercambiador de calor.

La Figura 5 muestra la parte inferior del soporte de herramienta de la Figura 2.

La Figura 6 es un gráfico que muestra el efecto de la utilización de un intercambiador de calor con una superficie con aletas de micro-canales en la vida útil de la herramienta a diferentes velocidades de corte.

La Figura 7 es un gráfico que muestra el efecto de la utilización de un intercambiador de calor sin una superficie con aletas de micro-canales en la vida útil de la herramienta a diferentes velocidades superficiales.

Descripción de la realización preferida

La Figura 1 muestra la herramienta de corte de la técnica anterior típica generalmente designada con el número de referencia 10. La herramienta de corte 10 comprende un elemento de corte, tal como un inserto 12 que se mantiene en un soporte 13 mediante una abrazadera 14 que se puede apretar contra el inserto 12 mediante un tornillo 16. El inserto 12 se ajusta en un bolsillo 17 formado en el extremo del soporte 13, y el borde de corte 18 del inserto 12 se extiende más allá del extremo 15 del soporte 13 de tal manera que el borde de corte se puede acoplar con un material que se está cortando por la herramienta 10. Si el inserto es cuadrado como se muestra, el inserto se puede hacer girar noventa grados cuando el borde de corte 18 se desgasta para exponer un lado nuevo del inserto al material que está siendo cortado. Si se utiliza de esta manera, el inserto cuadrado 12 tiene en realidad cuatro bordes de corte 18. Se conocen también otros insertos que tienen otros números de bordes de corte. Este tipo de herramienta y de soporte de corte se pueden utilizar en una aplicación en la que la herramienta de corte no gira, tal como, por ejemplo, en una máquina de torneado o torno.

La Figura 2 muestra una herramienta de corte 10 que se ha modificado para aplicar enfriamiento indirecto al inserto 12. Un aislante térmico 21 se coloca en el bolsillo 17 y un intercambiador de calor 19 se coloca en el aislante térmico 21. Una placa de conducción térmica 23 se coloca en la parte superior del intercambiador de calor de micro-canales 19 y el inserto 12 se coloca en la parte superior del conductor térmico 23. La abrazadera 14 se utiliza para mantener la pila de elementos en el bolsillo 17.

La Figura 3 es una vista en detalle del extremo del soporte 13 y del colector 22 del intercambiador de calor que es una parte del intercambiador de calor de micro-canales 19. El aislante térmico 21 se monta en el bolsillo 17 del soporte 13 y el colector 22 del intercambiador de calor se monta en el aislante térmico 21. El aislante térmico 21 se puede fijar en el colector 22 del intercambiador de calor y el conjunto de los dos elementos se puede fijar al bolsillo 17 mediante soldadura por haz de electrones, aunque se pueden utilizar otras formas de unión. El colector 22 del intercambiador de calor comprende una cavidad generalmente rectangular 26 formada por un suelo 27 que está rodeado por cuatro paredes 28-31. Una primera abertura 33 se forma en una esquina de la cavidad 26 y una segunda abertura 34 se forma en una segunda esquina que se encuentra diagonalmente opuesta a la primera abertura 33. En una realización de la invención, la primera abertura 33 es una entrada para el líquido refrigerante que tiene que admitirse en la cavidad 26, y la segunda abertura 34 es una salida para el refrigerante agotado desde la cavidad. Un rebaje o ranura 36 se forma a lo largo de la superficie superior de las paredes 28-31 para recibir una placa de cubierta 38 para el intercambiador de calor como se describe más completamente a continuación.

La Figura 4 muestra la parte inferior de la placa de cubierta 38 del intercambiador de calor que se monta en la parte superior del colector 22 del intercambiador de calor. Una pluralidad de aletas de transferencia de calor paralelas 40 que están separadas una de otra por los canales 41 se forman en la superficie interior de la placa de cubierta 38 del intercambiador de calor. Cuando la placa de cubierta del intercambiador de calor se monta sobre la cavidad 26 del colector 22 del intercambiador de calor, como se muestra en la Figura 5, las aletas de transferencia de calor 40 se extienden en la cavidad, y aumentan el intercambio de calor entre el refrigerante en la cavidad y el inserto de corte 12 que se monta en el extremo del soporte 13.

La Figura 4 muestra también el interior de la cavidad 26 cuando la placa de cubierta 38 del intercambiador de calor se coloca en las paredes 28-31 que rodean la cavidad. La placa de cubierta 38 del intercambiador de calor encaja en el rebaje 36 que se forma en la parte superior de las cuatro paredes. Una zona de entrada de refrigerante 43 se forma en el interior del intercambiador de calor de micro-canales 19 en la que el refrigerante desde la abertura de entrada 33 entra en el intercambiador de calor, y ésta es la región más fría del intercambiador de calor. La zona de entrada de refrigerante 43 se encuentra adyacente al borde de corte 18 del inserto cuando el inserto se sujeta en el soporte 13. Una zona de salida de refrigerante 44 se forma en el interior del intercambiador de calor de micro-canales 19, en la que el refrigerante del intercambiador de calor se recoge y se dirige a la abertura de salida de refrigerante 34. En una realización, las aletas de transferencia de calor 40 se disponen en forma de un paralelogramo de manera que los lados 46 de las aletas de transferencia de calor son paralelas a las paredes límite 29 y 31 y los extremos 47 de las aletas de transferencia de calor forman un lugar geométrico de puntos que está a un ángulo con respecto a las paredes límite 28 y 30. La forma de paralelogramo de la matriz de aletas de transferencia de calor 40 proporciona tanto a la zona de entrada de refrigerante 43 como a la zona de salida de refrigerante 44 una forma triangular, con la entrada de refrigerante 33 y la salida de refrigerante 34 estando situadas próximas al lado corto del triángulo. La placa de cubierta 38 del intercambiador de calor se monta en la parte superior de las paredes límite 28-31 para encerrar las aletas de transferencia de calor 40, y las zonas de entrada y salida de líquido refrigerante 43 y 44, respectivamente. Cuando se monta en las paredes límite 28-31, las partes superiores de las aletas de transferencia de calor 40 están en contacto con el suelo 27 de la cavidad 26 para confinar el flujo de refrigerante a través del intercambiador de calor de micro-canales 19 a los canales 41 formados entre las aletas.

La Figura 5 es una vista en perspectiva de la parte inferior del soporte de herramienta 13. Una ranura 51 se forma en la parte inferior del soporte, y un tubo de entrada de refrigerante 52 y un tubo de salida de refrigerante 53 se montan en la ranura 51. Esta ranura 51 termina en la parte trasera del soporte de herramienta (no mostrada) y se evacua para formar un espacio de vacío térmicamente aislante. El tubo de entrada de refrigerante 52 se acopla a la abertura

de entrada de refrigerante 33 en la cavidad 26 del intercambiador de calor, y el tubo de salida de refrigerante 53 se acopla a la abertura de salida de refrigerante 34. Los bloques de montaje 56 de material termoaislante se pueden situar entre el cuerpo del soporte 13 y los tubos de entrada y salida de refrigerante 52 y 53, respectivamente, para minimizar la pérdida de calor de los tubos en el soporte 13, y para soportar mecánicamente los tubos en el soporte.

- 5 Estos bloques de montaje 56 no están conectados al soporte de herramienta 13 para eliminar un potencial de fugas de calor por conducción desde el soporte de herramienta caliente 13 hasta el tubo de entrada de refrigerante 52. Los tubos de entrada y salida de refrigerante 52 y 53 pueden estar protegidos por un escudo exterior (no mostrado) que cubre la ranura 51. Durante su uso, el tubo de entrada de refrigerante 52 lleva normalmente nitrógeno líquido (LN_2) al intercambiador de calor 19, y el tubo de salida de refrigerante 53 lleva normalmente nitrógeno líquido calentado
- 10 que puede estar en un estado gaseoso desde el intercambiador de calor 19. En otra realización, el tubo de salida se puede direccionar al extremo 15 del soporte de herramienta para proporcionar un enfriamiento adicional. El aislante térmico 21 minimiza la transferencia de calor entre el soporte de herramienta 13 y el intercambiador de calor 19, y el conductor térmico 23 optimiza la transferencia de calor entre el intercambiador de calor 19 y el inserto 12. El aislante térmico 21 y el conductor térmico 23 optimizan el rendimiento del intercambiador de calor 19, pero no son
- 15 absolutamente necesarios para que el intercambiador de calor realice su función de enfriamiento del inserto 12.

Aunque la herramienta de corte que se describe en el presente documento utiliza un inserto 12 que tiene un borde de corte 18, los expertos en la materia reconocerán que los principios del dispositivo se pueden aplicar a herramientas de corte que utilizan elementos de corte fijos de tipo sin inserto tales como elementos de corte de diamante policristalino (PCD) o de carburo que son soldados, fijados, o de otra manera integrados a un cuerpo de herramienta de corte.

- 25 Durante su uso, el calor del inserto 12 se acopla por el conductor térmico 23 a las aletas 40 del intercambiador de calor 19. El nitrógeno líquido (LN_2) se hace fluir al tubo de entrada de refrigerante 53 desde una fuente fija (no mostrada) hasta una interfaz en la parte trasera de la herramienta (no mostrada). A medida que el LN_2 sale de la fuente, una pequeña cantidad de transferencia de calor del medio ambiente evapora una pequeña cantidad de criógeno antes de entrar en el tubo de entrada de refrigerante 52. En este punto, el nitrógeno se conoce como un fluido bifásico (parcialmente líquido y parcialmente gaseoso). En lo sucesivo, el nitrógeno líquido es referido como (LN_2) si la mayoría del fluido bifásico, en una base de masa, es líquido. El nitrógeno gaseoso es referido como (GN_2) si la mayoría del fluido bifásico, en una base de masa, es gas. El nitrógeno líquido (LN_2) desde el tubo de entrada de refrigerante 52 entra en la zona de entrada de refrigerante 43 y proporciona un enfriamiento máximo al borde de corte 18 del inserto antes que el nitrógeno líquido pase a través de los canales 41 entre las aletas de transferencia de calor 40. A medida que el refrigerante se hace pasar a través de las aletas de transferencia de calor 40, el calor del inserto 12 se transfiere al (LN_2) que absorbe este calor mediante la vaporización de una parte del líquido al gas.
- 35 El GN_2 se acumula, a continuación, en la zona de salida de refrigerante 44. El nitrógeno líquido en el intercambiador de calor utiliza el calor latente de la vaporización del (LN_2) para eliminar el calor del inserto 12. Esta transferencia de calor latente utiliza el cambio de fase isotérmica del nitrógeno líquido de un líquido saturado a vapor como un medio para absorber el calor. En la realización mostrada, el GN_2 en la zona de salida de refrigerante se transfiere hacia el tubo de salida de refrigerante 53 y lejos del extremo de trabajo del soporte de herramienta 13. En otra realización (no mostrada), el GN_2 se puede dirigir a una abertura en el extremo 15 o en la parte inferior del soporte de herramienta y agotarse a la atmósfera.
- 40

Resultados de la prueba

- 45 La Figura 6 es un gráfico de los resultados de la vida útil de la herramienta a partir de pruebas de mecanizado en acero inoxidable 416 para el enfriamiento por chorro, mecanizado en seco con un refrigerante comercialmente disponible, tal como el refrigerante industrial NAS 200™, y el enfriamiento utilizando la herramienta de corte con inserto de enfriamiento indirecto. En todas las velocidades de corte utilizadas en las pruebas, el sistema de la herramienta de corte con inserto de enfriamiento indirecto dio como resultado una vida útil de la herramienta mucho
- 50 más larga que el enfriamiento por chorro o mecanizado en seco con el refrigerante industrial.

- Las pruebas muestran que el grado de desgaste de los flancos para el sistema de herramienta de corte con enfriamiento indirecto es mucho menor que cualquiera del corte en seco o enfriamiento por chorro con el refrigerante industrial NAS 200™. El calentamiento excesivo durante el mecanizado en seco da como resultado algún borde
- 55 acumulado en la herramienta de corte. No se observó tal acumulación en la herramienta de corte con el inserto de enfriamiento indirecto.

- Las partes se examinaron después de los experimentos de mecanizado y se midió su precisión dimensional. También se midieron la media aritmética de la rugosidad superficial y la dureza Rockwell B. Los resultados de estas
- 60 mediciones se proporcionan en la Tabla 1 a continuación.

Tabla 1. Exámenes posteriores a la prueba de las piezas mecanizadas

	Precisión Dimensional (mils) mm	Media aritmética de la rugosidad superficial (μm)	Dureza Rockwell B de la Superficie Mecanizada (± 1 RBH)
Mecanizado en seco	(5) 0,13	>6,5	85
Enfriamiento por chorro con NAS 200™	(4) 0,10	>6,5	84
Herramienta de corte con inserto de enfriamiento indirecto	(4) 0,10	5,7	83

La precisión dimensional de todas las piezas estando comprendida en el error de la máquina o del operario. El instrumento que se utilizó para medir la rugosidad superficial se limitó a valores de 6,5 μm o menos. Las superficies mecanizadas de las partes mecanizadas en seco y de enfriamiento por chorro estaban por encima de este valor. La rugosidad superficial media de la pieza mecanizada utilizando el sistema de herramienta de corte de la Figura 2 con inserto de enfriamiento indirecto estuvo siempre por debajo de 6,5 μm , con un valor medio de 5,7 μm . Las mediciones no mostraron ninguna variación de dureza estadísticamente significativa en la superficie mecanizada, independientemente de la condición de corte que indicaba que cada condición de corte dio como resultado la misma microestructura cerca de la superficie. Estos resultados muestran que el enfriamiento de la herramienta utilizando el sistema de herramienta de corte con inserto de enfriamiento indirecto da como resultado una pieza lisa, precisa sin variaciones microestructurales inesperadas.

Se cree que la larga vida útil de la herramienta proporcionada por el sistema de herramienta de corte con enfriamiento indirecto es el resultado del intercambiador de calor de micro-canales 22 que se coloca detrás del inserto de herramienta de corte 12. El intercambiador de calor 22 aumenta el coeficiente de transferencia de calor y el área de transferencia de calor, ambos de los cuales disminuyen la resistencia térmica entre la cara trasera del inserto y el nitrógeno líquido que se utiliza para enfriar el intercambiador de calor. Para demostrar este efecto, el intercambiador de calor de micro-canales 22 se ha retirado y una placa de metal sin micro-canales se ha insertado en su lugar. Los resultados de la prueba se proporcionan en la Figura 7. Aunque el rendimiento de la herramienta de corte similar a la herramienta de corte con inserto de enfriamiento indirecto, pero sin el intercambiador de calor 22 es mejor que el corte en seco o enfriamiento por chorro con el refrigerante industrial, con el intercambiador de calor de micro-canales 22 retirado, la capacidad de enfriamiento y la vida útil de la herramienta del sistema de herramienta de corte han disminuido.

Las mediciones de temperatura tomadas en la parte trasera del inserto durante el mecanizado confirman que el intercambiador de calor de micro-canales en el sistema de herramienta de corte reduce la temperatura del inserto en más de 220K (-53,15 °C) en comparación con el corte en seco. Para el enfriamiento y mecanizado en seco convencional, la temperatura en la parte trasera del inserto aumenta durante el paso de mecanizado y disminuye a medida que la herramienta se mueve desde el extremo de pasada de mecanizado de vuelta al extremo libre de la pieza. La temperatura se eleva después en la iniciación de otra pasada de mecanizado. Para el inserto indirectamente enfriado, la temperatura se elevó durante la iniciación del mecanizado, pero alcanzó un valor estable (en lugar de seguir aumentando) durante la pasada de mecanizado. Por lo tanto, el inserto de herramienta enfriado indirectamente era más estable térmicamente que un inserto que funciona bajo condiciones de enfriamiento por inundación o de mecanizado en seco convencionales. Se midieron las temperaturas durante quince de tales ciclos, correspondientes a 15 pasadas de mecanizado. En el caso de la herramienta de corte con inserto de enfriamiento indirecto, hay un período de tres minutos durante el cual el sistema es pre-enfriado antes del mecanizado. El flujo de refrigerante durante el período de pre-enfriamiento está incluido en el cálculo del caudal total requerido para el sistema de herramienta de corte. Sin el intercambiador de calor de micro-canales, la temperatura de inserción solo se reduce en aproximadamente 50K (-223,15 °C) en comparación con el corte en seco. La temperatura del inserto no se midió con precisión durante el enfriamiento con un chorro de refrigerante debido a la colocación del termopar. Sin embargo, basándose en los resultados de desgaste de los flancos y la capacidad de transferencia de calor relativamente pobre de estos fluidos de corte, se puede deducir razonablemente que la temperatura de la parte trasera del inserto estaba cerca de la temperatura medida por corte en seco.

Beneficios

La herramienta de corte con el intercambiador de calor de micro-canales 22 para el enfriamiento indirecto de la herramienta de corte proporciona varios beneficios de rendimiento. El impacto medioambiental del proceso de mecanizado se reduce en un 21 % para el mecanizado en seco y por un factor de dos para el enfriamiento por chorro con un refrigerante sintético. La vida útil de la herramienta aumenta en un 50 % a altas velocidades de corte y en un 700 % a bajas velocidades de corte. Los costes de producción de la pieza disminuyen en al menos un 20 %. La calidad de la pieza final se mejora manteniendo al mismo tiempo un alto grado de precisión dimensional en la pieza acabada.

El método de enfriamiento indirecto tiene varias ventajas medioambientales y económicas:

- 5 *Cero Emisiones Tóxicas.* El uso de nitrógeno líquido inerte como se ha descrito anteriormente es un enfoque de control orientado a la prevención de la contaminación que elimina las emisiones tóxicas de los procesos de mecanizado asociados con los fluidos de corte. El método de enfriamiento indirecto solo produce nitrógeno gaseoso inerte a velocidades de flujo que son doscientas cincuenta veces menores que los métodos convencionales de enfriamiento directo. La pequeña cantidad de nitrógeno utilizado en el proceso se puede ventilar fácil y con seguridad al medio ambiente.
- 10 *Bajo Coste.* Los estudios de costes muestran que el método de enfriamiento indirecto representa la opción de más bajo coste para el mecanizado en comparación con el corte en seco o enfriamiento por chorro con un refrigerante sintético. Los costes de adquisición, mantenimiento, limpieza y eliminación de fluidos de corte son eliminados. La aplicación del enfriamiento indirecto no requiere modificaciones significativas a la máquina herramienta, y como resultado, se puede implementar fácil y asequiblemente tanto por grandes como pequeños centros de mecanizado.
- 15 *Muy bajo caudal de fluido de trabajo.* Debido a su capacidad de transferencia de alta temperatura, el método de enfriamiento indirecto requiere de solo 10 litros de nitrógeno líquido para aumentar la vida útil de la herramienta de corte en dos veces o más en comparación con una operación de mecanizado convencional equivalente que utiliza 2000 litros de refrigerante sintético. Estos volúmenes de refrigerante son representativos de las necesidades de enfriamiento de una máquina que opera continuamente durante un turno de ocho horas.
- 20 *Todos los beneficios del corte en seco.* Uno de los principales beneficios del corte en seco es que las virutas y la pieza acabada salen de la máquina limpias y secas, y listas para el siguiente paso de producción. Con el enfriamiento indirecto, se consiguen los mismos beneficios a un coste más bajo.
- 25 Habiendo descrito de este modo el dispositivo, diversas modificaciones y alteraciones serán evidentes para los expertos en la materia, modificaciones y alteraciones que estarán dentro del alcance de la invención como se define por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo para enfriar indirectamente un elemento de herramienta de corte que se monta en un soporte de herramienta de corte, teniendo el elemento de herramienta de corte (12) al menos un borde de herramienta de corte (18), comprendiendo el dispositivo:
 - un intercambiador de calor (19) montado en el extremo del soporte de herramienta de corte (13) entre el elemento de herramienta de corte (12) y el soporte de herramienta de corte (13), teniendo el intercambiador de calor (19) una superficie externa y una superficie interna; y una fuente de refrigerante para el suministro de refrigerante por debajo de la temperatura ambiente a la superficie interna del intercambiador de calor (19); por lo que la superficie externa del intercambiador de calor (19) está en relación de intercambio de calor con el elemento de herramienta de corte (12) y el refrigerante que se suministra a la superficie interna del intercambiador de calor (19) elimina el calor del intercambiador de calor (19) para enfriar el elemento (12),
caracterizado por
un colector (22) del intercambiador de calor y una placa de cubierta (38) que comprende el intercambiador de calor (19), por lo que cuando la placa de cubierta (38) está montada en el colector (22) del intercambiador de calor, se forma una cavidad (26) en el interior del intercambiador de calor (19).
2. El dispositivo de la reivindicación 1 que comprende además:
 - un tubo de entrada de refrigerante (52) acoplado a una primera abertura (33) en el intercambiador de calor (19) y un tubo de salida de refrigerante (53) acoplado a una segunda abertura (34) en el intercambiador de calor (19), acoplando el tubo de entrada de refrigerante (52) una fuente de refrigerante a la cavidad (26) del intercambiador de calor (19).
3. El dispositivo de la reivindicación 2 que comprende además:
 - una pluralidad de aletas de transferencia de calor (40) situadas en la cavidad (26) del intercambiador de calor (19), por lo que las aletas de transferencia de calor (40) mejoran la capacidad del intercambiador de calor (19) para eliminar el calor desde el elemento (12).
4. El dispositivo de la reivindicación 3, en el que el elemento de herramienta de corte (12) es un inserto de herramienta de corte.
5. El dispositivo de la reivindicación 3, en el que el elemento de herramienta de corte (12) está soldado o de otra manera fijado permanentemente al soporte de herramienta de corte (13).
6. El dispositivo de la reivindicación 3, en el que el elemento de herramienta de corte (12) está integrado con el soporte de herramienta de corte (13).
7. El dispositivo de la reivindicación 3 que comprende además:
 - una zona de entrada de refrigerante (43) en la cavidad (26), incluyendo la zona de entrada de refrigerante (43) la abertura (33) para el tubo de entrada de refrigerante (52) y estando adyacente al por lo menos un borde de corte (18) del elemento (12), por lo que el refrigerante que entra en la cavidad (26) entra primero en la zona de entrada de refrigerante (43) para proporcionar el máximo enfriamiento para el al menos un borde de herramienta de corte (18) del elemento (12).
8. El dispositivo de la reivindicación 7 que comprende además:
 - una pluralidad de canales (41) formados entre las aletas de transferencia de calor paralelas (40), por lo que el refrigerante en la cavidad (26) fluye desde la primera abertura (33) hasta la zona de entrada de refrigerante (43) y a través de los canales (41) entre las aletas de transferencia de calor (40) para proporcionar enfriamiento al elemento (12).
9. El dispositivo de la reivindicación 8 que comprende además:
 - una zona de salida de refrigerante (44) formada en la cavidad (26) en el lado opuesto de la cavidad (26) desde la zona de entrada de refrigerante (43), por lo que el refrigerante entra en la cavidad (26) en un lado del intercambiador de calor (19), y se dirige a través de los canales (41) formados entre las aletas de transferencia de calor paralelas (40) hasta la zona de salida de refrigerante (44) en el lado opuesto de la cavidad (26).
10. El dispositivo de la reivindicación 9, en los que los lados de las aletas de transferencia de calor (40) son perpendiculares al por lo menos un borde de herramienta de corte (18) y los extremos de las aletas de transferencia de calor (40) están a un ángulo con respecto al por lo menos un borde de herramienta de corte (18) de modo que la

zona de entrada de refrigerante (43) tiene la forma de un triángulo con la entrada del tubo de entrada de refrigerante (52) estando situada en el triángulo.

11. El dispositivo de la reivindicación 1 que comprende además:

5 un aislante térmico (21) situado en el extremo de la herramienta de corte (10) entre el cuerpo de herramienta de corte y el intercambiador de calor (19), por el que el intercambio de calor entre el cuerpo de herramienta de corte y el intercambiador de calor (19) se reduce.

12. El dispositivo de la reivindicación 1 que comprende además:

un conductor térmico (23) situado entre el intercambiador de calor (19) y el elemento (12), por el que el intercambio de calor entre el elemento (12) y el intercambiador de calor (19) se aumenta.

13. El dispositivo de la reivindicación 9 que comprende además:

20 nitrógeno líquido que comprende el refrigerante, por el cual el nitrógeno líquido entra en la zona de entrada de refrigerante (43) desde el tubo de entrada de refrigerante (52), pasa a través de los canales (41) entre las aletas de transferencia de calor (40) y entra en la zona de salida de refrigerante (44) antes de salir de la cavidad (26) del intercambiador de calor (19) por medio del tubo de salida de refrigerante (53).

14. El dispositivo de la reivindicación 13, en el que el nitrógeno líquido en el intercambiador de calor (19) utiliza el calor latente de vaporización del nitrógeno líquido para eliminar el calor del elemento (12).

15. El dispositivo de la reivindicación 1 que comprende además:

30 nitrógeno líquido que comprende el refrigerante que es suministrado a la superficie interna del intercambiador de calor (19), por lo que el nitrógeno líquido en el intercambiador de calor (19) utiliza el calor latente de vaporización del nitrógeno líquido para eliminar el calor del elemento de herramienta de corte (12).

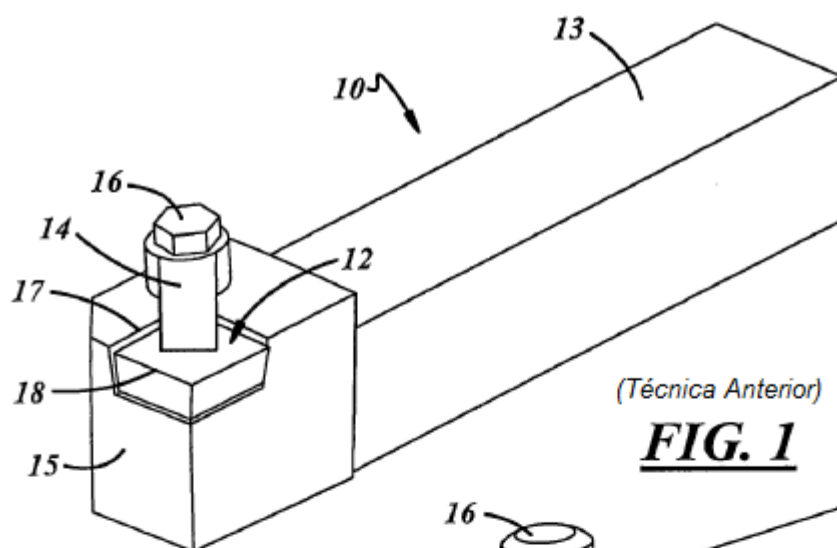


FIG. 1

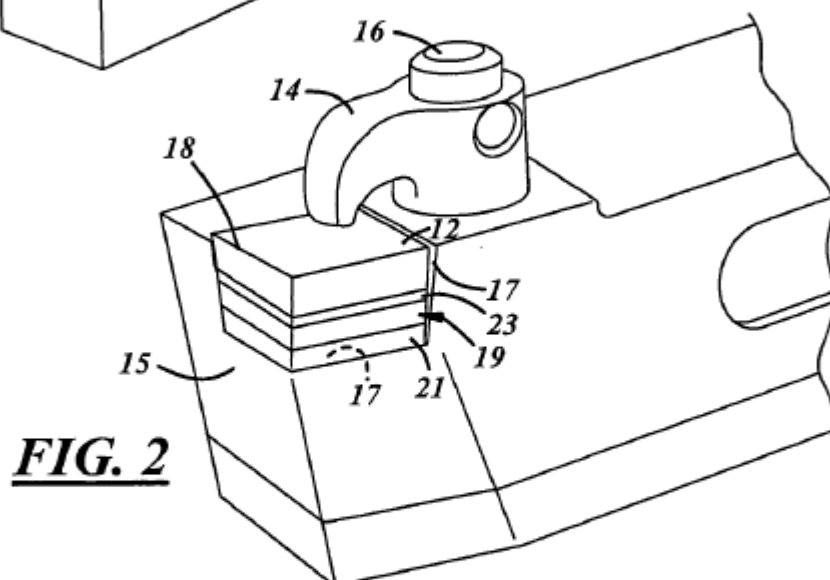


FIG. 2

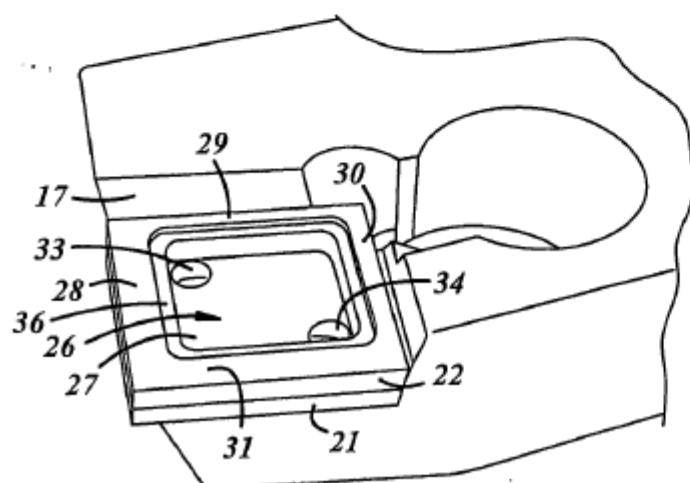


FIG. 3

