



República Federativa do Brasil  
Ministério da Indústria, Comércio Exterior  
e Serviços  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 102013018189-7 A2

(22) Data do Depósito: 17/07/2013

(43) Data da Publicação: 27/09/2016



\* B R 1 0 2 0 1 3 0 1 8 1 8 9 A

(54) Título: PORTA-FERRAMENTAS COM SISTEMA INTERNO DE TRANSFERENCIA DE CALOR COM FLUIDO EM MUDANÇA DE FASE

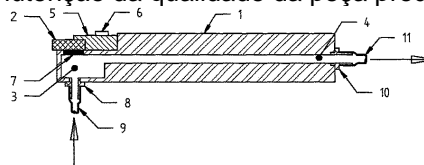
(51) Int. Cl.: B23B 27/10

(73) Titular(es): UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO-UNESP

(72) Inventor(es): ARTHUR ALVES FIOOCHI, LUIZ EDUARDO DE ÂNGELO SANCHEZ, RUBENS ROBERTO INGRACI NETO, VICENTE LUIZ SCALON

(74) Procurador(es): LEOPOLDO CAMPOS ZUANETI; FABÍOLA DE MORAES SPIANDORELLO BUENO

(57) Resumo: Patente de invenção de um porta-ferramentas com corpo estrutural contendo um sistema interno de canais por onde circula um fluido que muda de fase ao receber a energia térmica gerada durante a usinagem, transmitida através da ferramenta; visando extrair o calor gerado no processo, prolongando a vida da ferramenta de corte e favorecendo a manutenção da qualidade da peça produzida.



## **PORTA-FERRAMENTAS COM SISTEMA INTERNO DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR COM FLUIDO EM MUDANÇA DE FASE CAMPO DA INVENÇÃO**

A presente invenção refere-se a um porta-ferramentas com sistema interno de transferência de calor com fluido em mudança de fase, composto por um suporte para as ferramentas de corte, que atua como um trocador de calor para auxiliar na dissipação da energia térmica gerada nos processos de usinagem.

### **ANTECEDENTES DA INVENÇÃO**

A indústria mecânica utiliza o processo de usinagem para remoção de material para dar forma às peças, ou seja, fabricá-las com medidas precisas. A ferramenta de corte é geralmente fixada em um suporte, conhecido por porta-ferramentas que, por sua vez, é preso na máquina-ferramenta de usinagem. A ferramenta utilizada para este processo de remoção, ou corte, é feita geralmente de um material mais resistente mecanicamente que o material da peça. Mesmo assim, a ferramenta sofre desgaste, principalmente devido ao aquecimento durante o processo de remoção, fazendo com que ela sofra deterioração e perda da capacidade de corte, levando a sua inutilização; o que caracteriza a situação crítica comumente referida por "fim de vida".

Para minimizar a temperatura na ferramenta de corte, a fim de prolongar sua vida, é comum a aplicação de um fluido refrigerante, conhecido como fluido de corte, sobre a região de corte compreendida entre o contato da peça e a ferramenta. Este fluido de corte é composto essencialmente por água, mas também por produtos químicos, para minimizar a oxidação da peça e máquina-ferramenta, para melhorar a capacidade de lubrificação e refrigeração, e bactericidas, para impedir a proliferação de agentes vivos, entre outros tipos de aditivos.

Também é possível a usinagem com a ausência de fluido de corte

com a utilização de materiais de ferramentas mais resistentes ao calor, entretanto o custo destas ferramentas de corte é consideravelmente mais alto.

5 Alternativa conhecida para o prolongamento da vida de ferramentas de corte é a refrigeração da região de corte utilizando fluidos com temperatura de mudança de fase abaixo da temperatura ambiente, como o nitrogênio líquido ( $N_2$  líquido), técnica chamada de "usinagem criogênica".

10 Com o intuito de remover o calor da ferramenta de corte, foi divulgado em artigo internacional no *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, no trabalho intitulado *Investigation of the effects of cooling in hard turning operations*, por A. Noorul Haq e T. Tamizharasan, em 2006, um tubo de calor preenchido por água foi anexado na base da ferramenta de corte. O fluido ao entrar em contato com a região mais  
15 aquecida do tubo sofre vaporização, removendo parte do calor produzido no processo de usinagem. Após a evaporação, por efeito de capilaridade, a água migra para regiões mais frias condensando-se novamente. No entanto, ao contrário do nitrogênio líquido, a mudança de fase da água ocorre em temperaturas bem mais elevadas, em torno de 100 °C.

20 Em qualquer processo de usinagem ocorre intensa geração de calor oriundo da formação do cavaco. Esta energia é proveniente, basicamente, de três fontes: da deformação plástica do material no plano de cisalhamento primário (Zona de Cisalhamento Primária - ZCP); da deformação do cavaco e atrito na região da interface cavaco-ferramenta,  
25 onde se localiza o plano de cisalhamento secundário (Zona de Cisalhamento Secundária - ZCS); e do atrito entre a ferramenta e a peça, produzido por seus contatos (Zona de Cisalhamento Terciária - ZCT). Cada uma destas zonas contribui para o aumento da temperatura na região de corte de maneira distinta.

A maioria dos estudos foca apenas a zona de cisalhamento primária (ZCP) e a zona de cisalhamento secundária (ZCS), uma vez que a zona de cisalhamento terciária é significativa, em termos de geração de calor, apenas em elevados desgastes de flanco. Abordagens recentes  
5 mostram que o aumento da temperatura na ferramenta de corte ocorre, principalmente, devido à ZCS; embora se ressalte que a ZCP também contribui para este aquecimento e, indiretamente, afete a distribuição de temperatura na superfície de saída. Durante a remoção de material, o fluxo de cavaco tem um efeito convectivo, carregando consigo a energia  
10 gerada na ZCP, que ao passar pela interface cavaco-ferramenta troca calor por condução com a superfície de saída, aquecendo a ferramenta.

Desta forma, fica claro que a geração de calor na ZCP afeta a distribuição por todo o sistema. É possível afirmar que o aumento da temperatura na superfície de saída da ferramenta é devido ao efeito  
15 combinado do calor gerado na ZCP e ZCS, não a cada um deles individualmente. Além disto, as propriedades térmicas da ferramenta e da peça (condutividade térmica), as propriedades mecânicas do material, as condições tribológicas, o comprimento do contato cavaco-ferramenta e os parâmetros de corte são, também, parâmetros fundamentais na  
20 distribuição da dissipação do calor gerado.

Como mostram diversos estudos, o maior problema com a geração de energia térmica é que a geração de calor durante o processo é prejudicial à operação de usinagem. Foi comprovado cientificamente que em altas temperaturas o desgaste da ferramenta é mais acentuado,  
25 implicando na diminuição de sua vida e tornando muito difícil a manutenção das tolerâncias dimensionais especificadas para a peça e a rugosidade.

Em linhas gerais, o aquecimento no processo de usinagem conduz, basicamente, a quatro resultados indesejáveis na operação:

deformação da peça; coloração na superfície usinada; falseamento das medidas da peça em trabalho, onde ocorre uma discordância entre as medidas feitas durante a ação da ferramenta e após essa ação devido ao calor gerado; e dificuldade para o operador manusear a peça usinada, ou seja, retirá-la da máquina, transportá-la etc. Estas características negativas acerca do aquecimento nos processos de usinagem tornam premente a necessidade de manter a ferramenta em temperaturas baixas através do uso de tecnologias para a dissipação deste calor gerado. Os processos tradicionalmente utilizados para refrigeração destas operações são aqueles descritos anteriormente.

O documento PI0901570-1 apresenta um porta-ferramentas provido com um meio de amortecimento que permite eliminar os efeitos vibratórios devidos aos esforços de corte e às velocidades de usinagem. No entanto, esta invenção não se ocupa da questão da transferência de calor, ou refrigeração, necessária para a operação de usinagem.

Um porta-ferramentas rotativo é descrito no documento PI0507046-5, o qual permite a ferramenta rotacionar em sua extremidade. Entretanto, a patente não aborda a influência da refrigeração na operação de usinagem.

O documento CA2645860 trata de um porta-ferramentas com cavidades internas que permitem a inserção de um dispositivo tipo cartucho em seu interior, bem como a circulação de fluido de corte. Este cartucho é utilizado como recipiente para sensores de monitoramento, como de medição de vibração, esforços e temperatura, bem como sistema de amortecimento para a ferramenta de corte. Contudo, neste dispositivo as cavidades internas têm a função de acomodar o cartucho e, diferentemente dos dispositivos comuns que utilizam sistema de amortecimento, permitir a passagem de fluido de corte pelo corpo do porta-ferramentas. Este fluido de corte, portanto, é aplicado de maneira

convencional, ou seja, sua aspersion se dá através de um bico sobre a forma de jato sobre a interface de corte. Esta invenção não trata da extração do calor conduzido pela ferramenta de corte através da evaporação do líquido refrigerante no interior do porta-ferramentas.

5 A técnica descrita nesse documento permite a realização de um dispositivo estrutural e funcional para suportar uma ou mais ferramentas de corte e que possui canais internos para circulação de fluido, promovendo a remoção de calor por meio da mudança de fase do fluido.

10 A presente invenção tem como objetivo, notadamente, a diminuição da temperatura na região de corte, por intermédio da remoção de calor através da ferramenta de corte, com o auxílio de um porta-ferramentas com circulação interna de fluido que sofre mudança de fase. Deste modo, minimiza-se a aplicação do fluido de corte no processo de usinagem, uma vez que os de base de hidrocarbonetos sofrem  
15 deterioração, e não devem ser descartados no ambiente, pois se trata de um produto químico nocivo à saúde humana, sendo essa ação considerada crime ambiental se assim for feito.

### **SUMÁRIO DA INVENÇÃO**

20 A invenção tem como objeto um porta-ferramentas com sistema interno de transferência de calor com fluido em mudança de fase, composto por um corpo estrutural, denominado de porta-ferramentas, que possui canais internos próximos à ferramenta de corte, ou dentro dela, para circulação de fluido refrigerante.

As outras características da invenção são:

- 25 - o corpo do porta-ferramentas pode ser feito de cerâmica, ferro fundido, aço inoxidável, aço rápido, aço para construção mecânica, metal duro, aço carbono, tratado ou não termicamente, ou de outros materiais metálicos, cerâmicos, poliméricos, compósitos, dentre outros;
- uma interface entre a ferramenta e a cavidade do porta-

ferramentas pode ser introduzida para auxiliar a transferência de calor, feita em cobre eletrolítico, encruado ou não, alumínio, prata, ouro, grafeno, cerâmica supercondutora ou outro material bom condutor de calor;

5 - quando a ferramenta possuir furo de fixação, este poderá ser preenchido com um pino cilíndrico de material condutor para aumentar a remoção de calor, sendo a sua fixação no porta-ferramentas por ajuste interferente, soldagem ou por compressão mecânica;

- para ferramentas de corte comercial sem furo, não haverá pino cilíndrico para fixação, podendo ser utilizada uma presilha para pressionar a ferramenta de corte contra o porta-ferramentas e a interface condutora;

10 - na vedação entre a interface condutora e o porta-ferramentas pode ser usado resina polimérica fenólica, epóxi, polietileno ou similar, uma junta soldada com ou sem material de adição, ajuste interferente, anéis ou juntas de vedação ou união por rosca; e

15 - os canais de ligação entre o circuito interno do porta-ferramentas, sistema de pressurização e trocador de calor podem ser feitos de resina polimérica, dutos metálicos ou outros materiais inertes ao fluido utilizado.

## 20 **BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS**

A descrição que se segue e as figuras associadas, tudo dado a exemplo não limitativo, farão compreender bem a invenção.

25 A figura 1 apresenta o desenho técnico em corte do porta-ferramentas (1), com a ferramenta de corte (2) acoplada por presilha de fixação (5), e com as conexões externas, pelas quais circulam o fluido.

A figura 2 apresenta esquematicamente o sistema de refrigeração, compreendendo o porta-ferramentas (1), o trocador de calor (12), a bomba (13) e os canais de ligação.

A figura 3 representa o fluxo térmico gerado em uma operação de

usinagem atravessando a ferramenta de corte e a interface condutora, levando o fluido à mudança de fase.

### **DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO**

Como apresentado na figura 1, o porta-ferramentas (1) possui, abaixo da ferramenta de corte (2), uma câmara (3), na qual o calor gerado pelo processo de corte faz o fluido refrigerante que circula internamente evaporar. O vapor deixa o porta-ferramentas pelo canal interno (4). A ferramenta de corte (2) é fixada por uma presilha (5) que tem seu torque de aperto dado por um parafuso (6) ligado ao porta-ferramentas (1). Abaixo da ferramenta de corte (2), entre a ferramenta de corte (2) e a câmara (3), pode ser incluída uma interface (7) de material com elevada condutividade térmica, como cobre, a fim de favorecer a troca de calor entre ferramenta de corte (2) e fluido. O fluido entra na câmara (3) através da conexão (8) e deixa o porta-ferramentas pela conexão (10). As conexões podem ser com rosca, soldadas, inseridas por ajuste interferente, ou mesmo coladas à estrutura do porta-ferramentas (1). O fluido circula pelos sistemas externos de transferência de calor e pressurização e entra no porta-ferramentas (1) através do canal de ligação (9), e sai do porta-ferramentas (1) através do canal de ligação (11).

Como descrito na figura 2, o fluido refrigerante, após sua evaporação total ou parcial, devido à transferência do calor gerado no processo de usinagem, deixa o porta-ferramentas (1) pela conexão (10) e segue pelo canal de ligação (11) até o trocador de calor (12), no interior do qual é condensado. O fluido na fase líquida segue para a bomba (13), que força sua circulação até o interior do porta-ferramentas (1), através do canal de ligação (9). O sistema de refrigeração opera em regime permanente, com fluxo contínuo de fluido pelo interior do porta-ferramentas, trocador de calor e sistema de pressurização.

A figura 3 expõe o princípio de funcionamento do sistema interno de refrigeração do porta-ferramentas (1). A energia térmica gerada durante o processo de corte da peça (14), formando o cavaco (15), é transferida através da ferramenta de corte (2) e da interface condutora (7) ao fluido refrigerante no interior da câmara (3), que ao absorver esta energia térmica vaporiza-se parcialmente ou totalmente. O fluido aquecido deixa o porta-ferramentas, circulando pelo canal interno (4), até o canal de ligação (11), de onde segue para o sistema de troca de calor e pressurização, apresentado na figura (2).

O porta-ferramentas ou a própria ferramenta podem ser manufaturados de modo a se utilizar de tecnologias de intensificação de troca de calor, como agitação por ultra som, escoamentos por micro-canais, superfícies aletadas e meios porosos, em geometrias com forma de serpentina e outras técnicas quaisquer com o mesmo fim. Ainda, durante sua fabricação podem ser inseridas características que permitam alterações na pressão do sistema – como variações no diâmetro do canal (4) – de modo que o fluido refrigerante mude de fase em temperaturas diferentes, favorecendo a troca de calor. Geometrias diferenciadas são utilizadas na confecção da câmara de evaporação, de modo a direcionarem e regularem a vazão do jato de fluido que entra no porta-ferramentas. Na saída da dita câmara do porta-ferramentas, outras geometrias diferenciadas garantem a saída do vapor em direção ao sistema de transferência de calor.

A circulação do fluido no interior do porta-ferramentas ou da própria ferramenta pode ser forçada ou baseada em convecção natural e, portanto, utilizar dos efeitos de variação da densidade, com a evaporação e/ou aquecimento para movimentação do fluido no sistema.

A resistência térmica de contato entre a ferramenta e o porta-ferramentas pode ser diminuída por meio da aplicação de pasta térmica,

aumento da planeza, diminuição da rugosidade ou qualquer tratamento superficial com esse fim.

Um exemplo de aplicação é a usinagem de peças automobilísticas e aeronáuticas de aços liga de difícil usinagem. Isso se deve pela grande  
5 geração de energia térmica, elevados esforços de corte, reduzida  
condutividade térmica desses materiais e elevada taxa de desgaste da  
ferramenta, além da intrínseca necessidade em manter os critérios de  
projeto, como dimensões e acabamento superficial. Utilizando-se uma  
ferramenta de corte com ou sem revestimento superficial, conectada ao  
10 porta-ferramentas com sistema interno de transferência de calor com  
fluido em mudança de fase; a presente tecnologia objetiva prolongar a  
vida da ferramenta de corte, diminuindo o tempo não produtivo  
sustentando a qualidade desejada das peças produzidas por mais tempo.

## REIVINDICAÇÕES

1. DISPOSITIVO REFRIGERADO PARA USINAGEM DE MATERIAIS caracterizado pela transferência de calor da ferramenta de corte dar-se pela circulação forçada, ou convecção natural, em seu interior ou da própria ferramenta, de um fluido em mudança de fase em  
5 função da temperatura alcançada na operação de usinagem.

2. DISPOSITIVO REFRIGERADO PARA USINAGEM DE MATERIAIS caracterizado por utilizar como fluido água, dióxido de carbono, amônia, fluidos refrigerantes, ou outros fluidos que, sob  
10 diferentes pressões, evaporem-se preferencialmente na faixa de temperaturas de -50 °C a 200 °C, preferencialmente entre 0 °C e 50 °C.

3. DISPOSITIVO REFRIGERADO PARA USINAGEM DE MATERIAIS caracterizado por compreender, no mínimo, um porta-ferramentas, um meio para troca de calor e um elemento para circulação  
15 forçada de fluidos ou convecção natural.

4. DISPOSITIVO REFRIGERADO PARA USINAGEM DE MATERIAIS, de acordo com as reivindicações de 1 a 3, caracterizado por utilizar um elemento trocador de calor, ou o próprio meio ambiente, para condensar novamente as fases vaporizadas, permitindo ao dispositivo  
20 refrigerado operar em ciclo fechado.

5. DISPOSITIVO REFRIGERADO PARA USINAGEM DE MATERIAIS, de acordo com as reivindicações de 1 a 4, caracterizado por utilizar um sistema de circulação de fluido, externo ou interno ao porta-ferramentas, baseado em circulação forçada utilizando-se bombas,  
25 compressores ou outros dispositivos para este fim.

6. PORTA-FERRAMENTAS OU FERRAMENTAS PARA USINAGEM DE MATERIAIS caracterizados por um corpo estrutural dotado de canais internos e um sistema interno de transferência de calor que utilize tecnologias de intensificação de troca de calor como ultra som,

escoamentos em micro-canais, superfícies aletadas e meios porosos, em geometrias com forma de serpentina e outras técnicas quaisquer com o mesmo fim, sejam elas aplicadas separadamente ou aplicadas em conjunto.

5           7. PORTA-FERRAMENTAS OU FERRAMENTAS PARA  
USINAGEM DE MATERIAIS, de acordo com as reivindicações de 1 a 6,  
caracterizados pelo fato de que a resistência térmica de contato entre a  
ferramenta e o porta-ferramentas pode ser diminuída por meio da  
aplicação de pasta térmica, aumento da planeza, diminuição da  
10 rugosidade ou qualquer tratamento superficial com esse fim, sejam elas  
aplicadas separadamente ou aplicadas em conjunto.

          8. PORTA-FERRAMENTAS OU FERRAMENTAS PARA  
USINAGEM DE MATERIAIS, de acordo com as reivindicações de 1 a 7,  
caracterizados por conduzir as fases oriundas da câmara de evaporação  
15 diretamente para a atmosfera ou sobre peça que está sendo usinada.

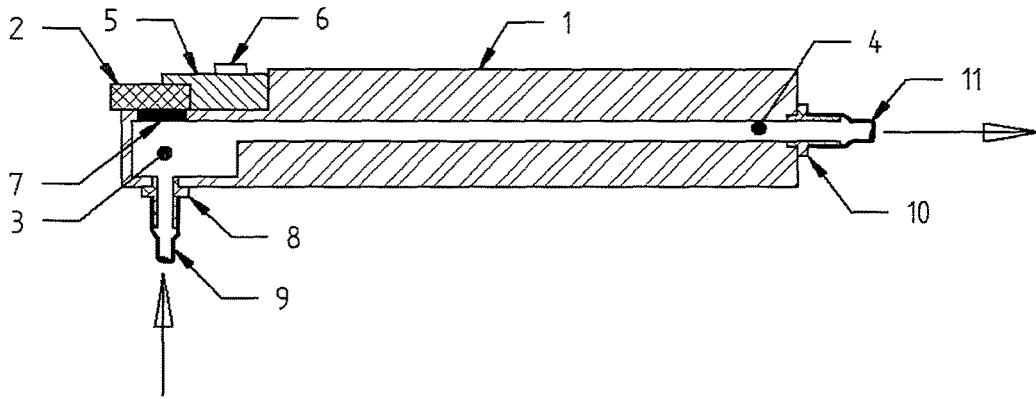
          9. PORTA-FERRAMENTAS OU FERRAMENTAS PARA  
USINAGEM DE MATERIAIS, de acordo com as reivindicação de 1 a 8,  
caracterizado por ser confeccionado com um ou mais materiais de  
elevada condutividade térmica, bem como os outros elementos  
20 integrantes do sistema, preferencialmente, cerâmica, ferro fundido, aço  
inoxidável, aço rápido, aço para construção mecânica, metal duro,  
cermets, aço carbono, tratado ou não termicamente, cobre, alumínio,  
prata, ouro, grafeno, cerâmica supercondutora, compósitos, polímeros ou  
de outros materiais.

25           10. PORTA-FERRAMENTAS OU FERRAMENTAS PARA  
USINAGEM DE MATERIAIS, de acordo com as reivindicações de 1 a 9,  
caracterizado pelo fato de que o dito porta-ferramentas pode trabalhar  
com uma ou mais ferramentas.

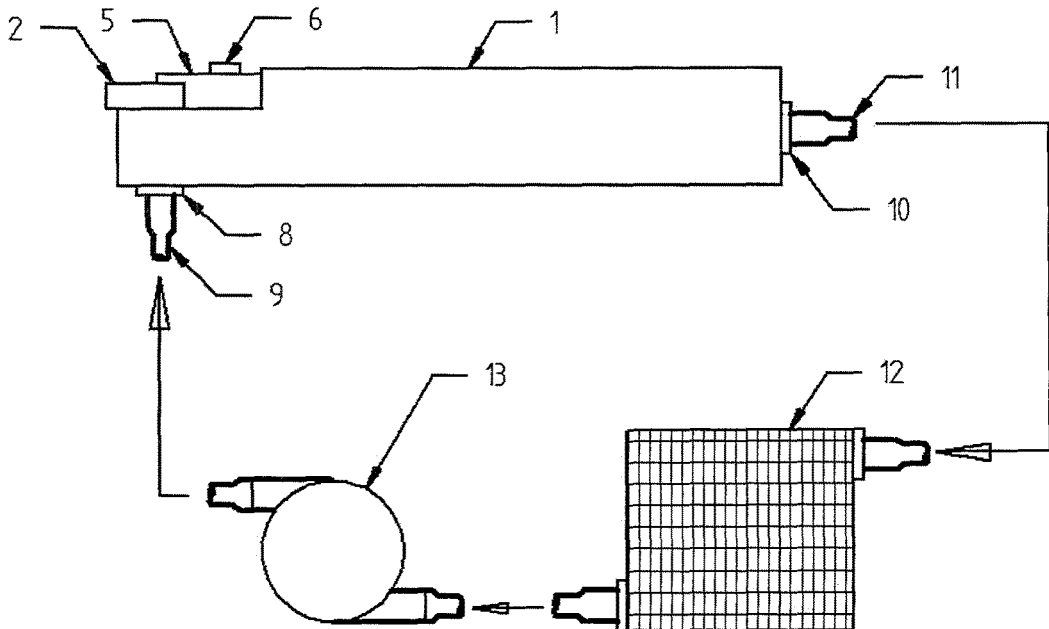
          11. PORTA-FERRAMENTAS OU FERRAMENTAS PARA

USINAGEM DE MATERIAIS, de acordo com as reivindicações de 1 a 10, caracterizado por canais construídos no interior do porta-ferramentas ou no interior da própria ferramenta caracterizados por geometrias que regulem a vazão, pressão, direção e sentido do escoamento do fluido.

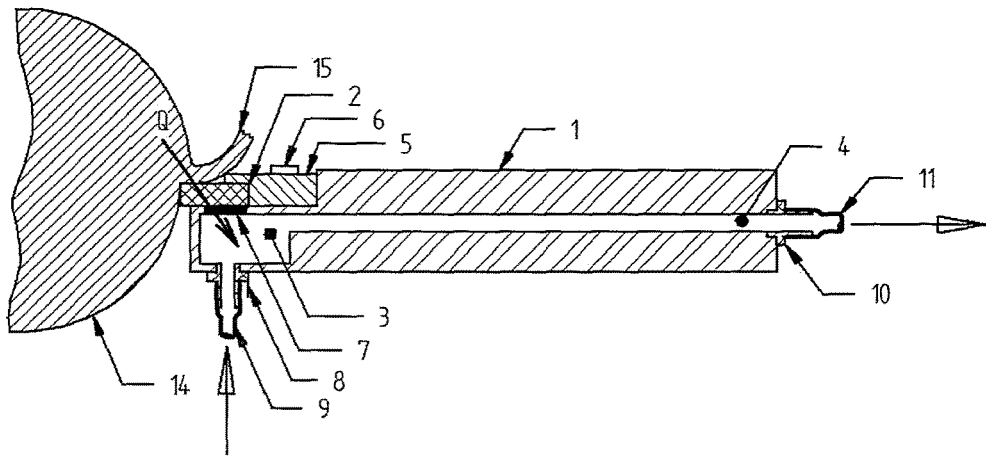
- 5           12. PORTA-FERRAMENTAS OU FERRAMENTAS PARA  
USINAGEM DE MATERIAIS, de acordo com as reivindicações de 1 a 11,  
caracterizado por aplicações em remoção de material que utilizam  
ferramentas de geometria definida ou não definida em diferentes áreas  
não limitado exclusivamente à indústria automobilística, aeronáutica,  
10 mineração, cerâmica, química, perfuração, energia, naval, madeira,  
metal-mecânica, odontológica, médica, de processamento de materiais  
condutores, semicondutores, ópticos e produtos da indústria  
eletroeletrônica.



**FIG.1**



**FIG.2**



**FIG.3**

**RESUMO**

**"PORTA-FERRAMENTAS COM SISTEMA INTERNO DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR COM FLUIDO EM MUDANÇA DE FASE"**. Patente de invenção de um porta-ferramentas com corpo  
5 estrutural contendo um sistema interno de canais por onde circula um fluido que muda de fase ao receber a energia térmica gerada durante a usinagem, transmitida através da ferramenta; visando extrair o calor gerado no processo, prolongando a vida da ferramenta de corte e favorecendo a manutenção da qualidade da peça produzida.