



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 102020025948-2 A2



(22) Data do Depósito: 17/12/2020

(43) Data da Publicação Nacional: 28/06/2022

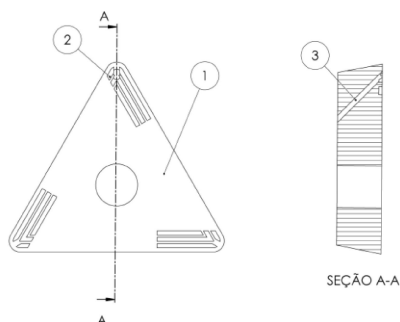
(54) **Título:** FERRAMENTA DE CORTE TEXTURIZADA PREENCHIDA COM MATERIAL DE ALTA CONDUTIVIDADE TÉRMICA

(51) **Int. Cl.:** B23P 13/02.

(71) **Depositante(es):** UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JULIO DE MESQUITA FILHO.

(72) **Inventor(es):** FERNANDO SABINO FONTEQUE RIBEIRO; JOSÉ CLAUDIO LOPES; EDUARDO CARLOS BIANCHI; LUIZ EDUARDO DE ANGELO SANCHEZ.

(57) **Resumo:** O presente invento, pertencente ao campo das engenharias, consiste em um aparato para aplicação de nitrogênio líquido na interface de contato entre cavaco e ferramenta de corte texturizada. Consistindo em um porta ferramentas modificado e uma ferramenta de corte texturizada, o presente invento apresenta a inovadora técnica de usinagem criogênica por meio da aplicação de nitrogênio líquido em regiões de contato inatingíveis para qualquer técnica de usinagem criogênica. A redução da área de contato promovida pela aplicação de ferramentas de corte texturizadas permite que a interface de contato cavaco-ferramenta seja atingida pelo nitrogênio líquido através de um micro canal modificado presente na região texturizada. O dispositivo possui características funcionais com aspecto de fundamental caráter inovador, apresentando grande avanço para o estado da técnica atual. Maior vida de ferramenta, menores custos agregados, menor tempo de produção e melhores condições de usinagem para materiais de baixa usinabilidade e superligas metálicas são apontadas como vantagens atreladas ao presente invento. São reivindicados o aparato e seu uso.



APARATO DE USINAGEM CRIOGÊNICA COM NITROGÊNIO LÍQUIDO SOB CAVACO

[001] O presente invento, pertencente ao campo das engenharias, consiste em um aparato para aplicação de nitrogênio líquido na interface de contato entre cavaco e ferramenta de corte texturizada. Consistindo em um porta ferramentas modificado e uma ferramenta de corte texturizada, o presente invento apresenta a inovadora técnica de usinagem criogênica por meio da aplicação de nitrogênio líquido em regiões de contato inatingíveis para qualquer técnica de usinagem criogênica. A redução da área de contato promovida pela aplicação de ferramentas de corte texturizadas permite que a interface de contato cavaco-ferramenta seja atingida pelo nitrogênio líquido através de um micro canal modificado presente na região texturizada. O dispositivo possui características funcionais com aspecto de fundamental caráter inovador, apresentando grande avanço para o estado da técnica atual.

[002] Maior vida de ferramenta, menores custos agregados, menor tempo de produção e melhores condições de usinagem para materiais de baixa usinabilidade e superligas metálicas são apontadas como vantagens atreladas as técnicas.

ESTADO DA TÉCNICA

[003] Durante o processo de usinagem, o atrito entre peça e ferramenta causa a deterioração da qualidade da superfície da peça e a perda de energia, bem como desgaste na ferramenta de corte. Alguns estudos mostraram que a usinagem ocupa cerca de 31% do consumo total de energia em países desenvolvidos, como Europa e América, logo, a energia desprendida devida ao atrito é de extrema importância. Atualmente, o principal método para reduzir o atrito e o desgaste das ferramentas de corte é usar o fluido de corte que pode desempenhar um papel na lubrificação. No entanto, a produção, aplicação e descarte de fluidos de corte causam grandes índices de poluição,

prejudicando seriamente o meio ambiente e aumentando os custos de produção.

[004] Setores industriais aeronáuticos e automotivos, por exemplo, encontram certas dificuldades de usinagem, uma vez que os materiais usados por eles possuem características especiais que dificultam a usinagem com lubrificação convencional. Aços inoxidáveis super duplex e superligas como inconel e waspaloy são ligas resistentes à corrosão e possuem alta resistência mecânica, sendo desenvolvidas para aplicações com altos níveis de exigência técnica. Visto suas qualidades apresentadas, a usinabilidade dessas ligas é muito baixa, resultando em longos ciclos de produção e alto custo em ferramental, mesmo quando usadas ferramentas próprias para suportar as solicitações típicas desses materiais.

[005] Com isso, a usinagem criogênica baseadas na aplicação de nitrogênio líquido, por exemplo, é aplicada em condições de usinagem de materiais de alta resistência e baixa usinabilidade. Todavia, as técnicas de aplicação de nitrogênio líquido não são eficazes em atingir a interface de corte entre cavaco e ferramenta em aplicações por jato ou spray.

[006] Estudos mais recentes indicam que modificações superficiais na promovidas na interface de corte por alterar as condições tribológicas durante a usinagem. Tal modificação citada é caracterizada pela texturização de superfície, que visa conceder a ferramenta de corte micro ou nano superfícies nas interfaces de contato ou em suas imediações. Resultados indicam que aplicação de superfície alteras por meio da texturização pode promover melhorias na interação entre cavaco e ferramenta, sendo possível atingir reduções nas forças de corte, redução no atrito, redução nas temperaturas de usinagem e aumento da vida das ferramentas de corte. Tais melhorias são promovidas por meio da redução da área de contato, maior área de troca térmica e o pela capacidade de armazenamento de resíduos micrométricos da usinagem e de lubrificante. Ainda, a aplicação de

lubrificantes em ferramentas de corte texturizadas favorece a lubrificação por capilaridade na interface de contato e promove a lubrificação hidrodinâmica no momento da usinagem.

[007] Desta forma, o presente invento apresenta a técnica inovadora de aplicação de usinagem criogênica com ferramentas texturizadas dotadas de micro canais, que permitem a aplicação de nitrogênio líquido sob o cavaco. Buscas realizadas nos principais bancos de patentes visam verificar as mais recentes patentes acerca de ferramentas de corte texturizadas e usinagem criogênica. A patente BRPI0501328 apresenta um sistema de aplicação de usinagem criogênica por intermédio de jatos posicionados nas intermediações da região de formação de cavaco, sendo ampliadas para qualquer aplicação de fluido criogênico ou processo de fabricação, de forma muito semelhante a encontrada na patente AU1995033236. Outro invento apresentado na patente WO2012107267 consiste em um sistema de usinagem específico para a usinagem de virabrequins, caracterizado pela presença de um porta ferramentas portador de vários insertos de usinagem e bocais para aplicação de jatos criogênicos. Já na patente indiana 2177DEL2009 é defendida a técnica de jatos criogênicos para a usinagem de latão. A aplicação de nitrogênio líquido pode ser observada na patente PI20063059, onde há um sistema fechado para a circulação de nitrogênio líquido que refrigera a ferramenta de corte sem injetar o fluido no ambiente de usinagem. Com vistas a quebrar o cavaco por meio de jato criogênico, a patente WO1996005008 apresenta a técnica de aplicação de um jato criogênico provindo de um orifício contido em um quebra cavaco postigo na ferramenta de corte, jato este de qualquer origem, mas atendendo a característica de temperatura reduzida.

[008] Técnicas apresentadas quanto a ferramentas texturizadas podem ser vistas nas patentes MX2016014284, IN201611016675, EP2580370,

CN102471896, WO 2012079769, US20120144965 e WO2018000529, compreendendo em aplicações tradicionais para ferramentas de corte texturizadas, não apresentando nenhuma indicação quanto a usinagem criogênica pela aplicação de nitrogênio líquido. Da mesma forma, o estado da técnica atual representado pelas patentes BRPI0501328, AU1995033236, WO2012107267, 2177DEL2009, PI20063059 e WO1996005008 não faz menção a ferramentas de corte texturizadas tampouco a ferramentas de corte providas de micro canais na interface de contato, abrangendo apenas técnicas convencionais de jato ou refrigeração interna.

[009] Com vistas ao apresentado, o dado invento apresenta-se com caráter único e inovador, propiciando grande evolução no estado da técnica atual e permitindo melhores condições de usinagem para materiais de baixa usinabilidade.

VANTAGENS DA INVENÇÃO

[010] O invento proposto vem demonstrar diversas utilidades e importantes aplicações aos usuários, das quais fazem as seguintes citações:

[011] Apresenta-se na forma de conjunto entre porta ferramentas e ferramenta de corte texturizada providos de micro canais par a lubrificação por jato de nitrogênio líquido;

[012] O posicionamento do micro canal na interface texturizada permite aplicação de nitrogênio líquido na interface de contato;

[013] A aplicação de nitrogênio líquido na interface de contato permite redução de atrito na interface de contato, visto a formação de um fina camada entre cavaco e ferramenta;

[014] Com pressão e vazão adequadas, ocorre melhor quebra do cavaco;

[015] Proporciona a eliminação dos fluidos de corte tradicionais e dispensa custos acerca do descarta dos mesmos;

[016] A aplicação do nitrogênio líquido região de contato texturizada por meio de micro canal permite a redução na aplicação de nitrogênio líquido frente a outras aplicações criogênicas com jatos externos; e

[017] Amplia a capacidade de usinagem de aços como superligas e super duplex, reduzindo o custo de fabricação de componentes mecânicos de alta exigência.

BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

[018] De modo a ter uma melhor visualização das características da invenção, são apresentadas as descrições das figuras a seguir.

[019] A Figura de 1 apresenta a ferramenta de corte (1) e sua região texturizada (2). Na seção de corte AA é indicado o micro canal de fornecimento de nitrogênio líquido (3).

[020] A Figura 2 apresenta o porta ferramentas (4) e indica por meio do corte BB o canal de fornecimento de nitrogênio líquido (5).

[021] A Figura 3 aponta o elemento de apoio para a ferramenta de corte (1) sendo apresentado pelo nome de calço (6), que, para o correto fornecimento de nitrogênio líquido na interface de corte é dotado de um micro canal (7), representado pelo corte CC.

[022] A montagem do conjunto para aplicação é indicada na Figura 4, representando a ferramenta de corte texturizada (1), o porta ferramentas (4) e o calço (6).

[023] A Figura 5 apresenta os esforços médios obtidos experimentalmente para as condições avaliadas.

[024] A Figura 6 mostra a comparação entre o volume de material removido e a vida das ferramentas de corte.

[025] O sistema é representado pelo porta ferramentas CTGPL 20x20 e pela ferramenta de corte TPUN 160308, mas pode ser substituído por outras geometrias de porta ferramentas e ferramentas texturizadas que possam atender os requisitos mínimos de aplicação.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

[026] Previamente, a ferramenta de corte deve apresentar uma região texturizada, apresentando características como micro ou nano ranhuras, micro ou nano furos ou qualquer geometria de texturização compatível com o processo de usinagem. A ferramenta apresentada no invento é de carbetto de tungstênio, mas poderão ser aplicadas outros materiais de ferramentas compatíveis com o processo.

[027] Na região texturizada, é realizada preferencialmente um micro furo, de diâmetro que não comprometa a integridade física durante a usinagem, podendo ser realizado por qualquer processo de usinagem que possa atender a demanda dimensional do projeto.

[028] Juntamente a alteração da ferramenta de corte, é confeccionado no porta ferramentas um canal para passagem de nitrogênio líquido, bem como um micro canal no calço da ferramenta de corte.

[029] A montagem do conjunto é realizada de forma a posicionar os micro canais e promover o fluxo ideal de nitrogênio líquido durante a usinagem.

[030] O fluxo de nitrogênio líquido é promovido por um sistema de bombeamento, tubulações e conexões adequadas ao fluido em questão.

[031] Seu funcionamento inovador caracteriza-se pela aplicação de nitrogênio líquido durante a usinagem na interface de contato entre cavaco e ferramenta, no qual a superfície texturizada permite a formação de micro poças de fluido criogênico, auxiliando na redução de atrito, forças, temperatura e melhor condição de quebra de cavaco.

[032] Ensaios controlados em laboratório foram realizados buscando verificar a funcionalidade do presente invento. Abaixo, estão descritos os procedimentos e os resultados encontrados durante as análises.

Procedimento para análise de forças, coeficiente de atrito e vida de ferramenta

[033] Os ensaios foram realizados em um torno CNC da marca ROMI, modelo Centur 30D, no qual foi montado um dinamômetro de três coordenadas da marca Kistler, modelo 9257BA. Os sinais do dinamômetro são enviados até a unidade de controle 5233 A1, no qual os sinais foram configurados em F_x , F_y e F_z conforme os esforços atingidos durante a usinagem. As saídas coaxiais da unidade de controle do dinamômetro foram conectadas a um módulo de aquisição de dados analógicos da National Instrument modelo NI-9207, conectado ao chassi de ethernet cDaq-9188, também da National Instrument e lidos em um computador com software de análise Labview® a uma frequência de aquisição de 200 Hz.

[034] As forças de corte foram tomadas em cada ensaio e foram representadas através de seus valores médios para cada passe até o fim da vida das ferramentas. Os valores das forças de corte mensuradas durante os ensaios foram aplicados para a quantificação do coeficiente de atrito entre cavaco e ferramenta, conforme proposto nas Equações 1, 2 e 3:

$$F_{at} = (F_{xy} + F_z \tan \alpha) \cos \alpha \quad (1)$$

$$F_N = (F_z - F_{xy} \tan \alpha) \cos \alpha \quad (2)$$

$$\mu = \frac{F_{at}}{F_N} \quad (3)$$

no qual, F_{at} é a força de atrito, F_N é a força na direção normal à superfície de saída e $F_{xy} = F_x / \sin(90 - \theta)$, α é o ângulo de saída e θ é o ângulo de posicionamento da ferramenta ou ângulo lateral da aresta de corte. O ângulo lateral da aresta de corte é definido como o ângulo entre a aresta de corte e a superfície lateral do porta ferramentas. Na dada situação o, o conjunto entre ferramenta de corte e porta ferramentas apresenta $\theta = 1^\circ$ e $\alpha = 6^\circ$. Tal relação apresenta o valor do coeficiente global de atrito, não podendo indicar apenas

o atrito em determinada região, que como já apresentado, pode ter origem na superfície de flanco, ponta ou superfície de saída da ferramenta de corte.

[035] A norma ISO 3685 estabelece que um dos critérios para o final de vida da ferramenta de corte é o desgaste de flanco médio de 0,3 mm (VBB). Durante os ensaios, o desgaste foi medido até alcançar o valor limite de 0,3, ou a operação interrompida caso ocorresse alguma falha catastrófica na ferramenta. A medição foi realizada através de dados obtidos por imagens realizadas em microscópio ótico (Nikkon SMZ 800) acoplado a uma câmera digital.

[036] Os resultados avaliados foram comparados em função da aplicação de torneamento com lubrificação convencional e o presente invento. Os parâmetros de corte aplicados foram fixados em velocidade de corte de 100 m/min, avanço de 0,2 mm/rev e profundidade de corte de 1mm. A seguir, apresentamos os resultados em termos de vida de ferramenta e forças de corte.

Resultados acerca da força de corte e atrito

[037] A usinagem com a aplicação de nitrogênio líquido na interface de corte possibilitada pelo presente invento permitiu grandes melhorias nas condições de usinagem. Na Figura 5 estão contidos os esforços de corte médios obtidos experimentalmente para a condição convencional e a apresentada neste invento. A redução dos esforços de até 35% foi atingida graças as baixas temperaturas do nitrogênio e a região de aplicação. As técnicas tradicionais de aplicação de nitrogênio líquido em torneamento aplicam o dado fluido sobre o cavaco, não atingindo desta forma a região necessária. A aplicação de nitrogênio líquido por debaixo do cavaco, este permitido pelo presente invento, pode reduzir drasticamente o consumo do fluido, gerando possibilidades reais para a usinagem criogênica em materiais de difícil usinagem. A redução nas forças, é resultado da redução drástica na

temperatura. A redução na adesão provinda das altas temperaturas, reduziu o atrito de 0,62 para 0,55.

Resultados da análise de vida da ferramenta de corte.

[038] A Figura 6 apresenta o perfil de desgaste para as condições convencionais e a aplicada no presente invento. A ferramenta convencional atingiu seu final de vida ao remover aproximadamente 150 cm³ de material, enquanto a ferramenta de corte texturizada dotada do presente invento removeu aproximadamente 217 cm³ de material, apresentando um aumento de aproximado de 41% no volume de material removido. Convencionalmente, a usinagem criogênica remove de maneira global a temperatura, porém, no presente invento há a aplicação do nitrogênio líquido na interface de contato, mais especificamente entre o cavaco e ferramenta, sendo esta condição apenas permitida pelo presente invento. O rápido resfriamento da ferramenta de corte e do cavado pode evitar a troca de material em escala atômica (difusão). Logo, a aresta de corte da ferramenta de corte pode permanecer preservada por maior tempo, removendo assim maior quantidade de material comparada a condição convencional.

[039] Por fim, aponta-se que a característica única vista neste invento apresenta uma grande evolução para os processos de usinagem criogênicos, visando economicidade do processo de usinagem com diminuição dos tempos de usinagem, redução no volume de nitrogênio líquido aplicado e aumento na vida das ferramentas de corte aplicadas.

REIVINDICAÇÕES

1 – APARATO DE USINAGEM CRIOGÊNICA COM NITROGÊNIO LÍQUIDO SOB CAVACO, caracterizado por compreender uma ferramenta de corte (1) com ao menos uma região texturizada (2) e ao menos um micro canal (3) para o fornecimento de nitrogênio líquido, contendo ainda um porta ferramentas (4) com ao menos um canal (5) para fornecimento de nitrogênio líquido e um calço (6) dotado de ao menos um canal (7) para o correto fornecimento do nitrogênio líquido durante a usinagem.

2 - APARATO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por (1) ser montado em (4) juntamente a (6), em que no momento da usinagem é fornecido um jato de nitrogênio líquido, provindo de um sistema de bombeamento específico e conduzido por (5), (7), (3) até (2), onde devido a sua pressão e vazão forma uma película entre (1) e o cavaco.

3 – USO DO APARATO, conforme definido nas reivindicações 1 e 2, caracterizado por ser na usinagem à laser, usinagem por eletroerosão, micro usinagem ou qualquer outro método capaz de realizar tal trabalho e que as geometrias aplicadas na texturização podem ser fabricadas juntamente ao processo de fabricação da ferramenta de corte.

4 - USO, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado por ser em ferramenta de carbetto de tungstênio com cobalto ou qualquer outro tipo de material aplicado a ferramentas de corte, como aço rápido, CBN ou diamante.

FIGURA 1

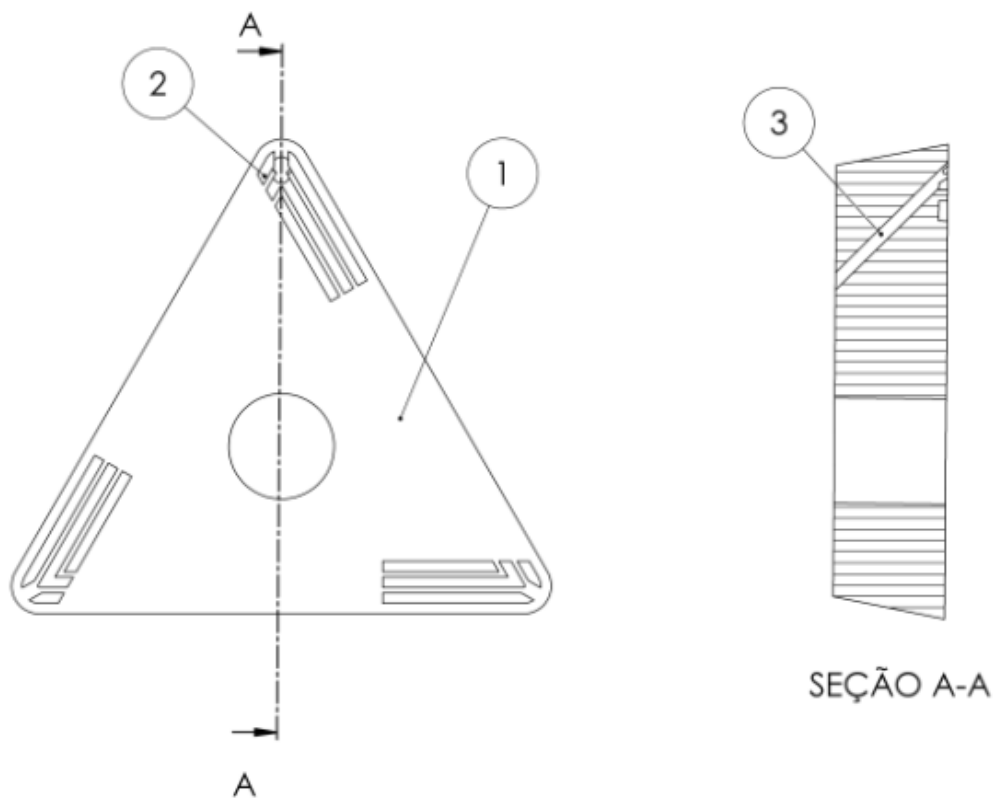


FIGURA 2

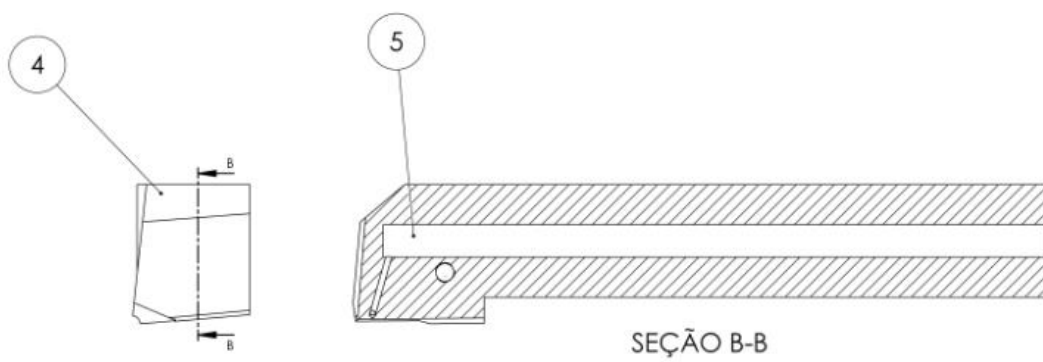


FIGURA 3

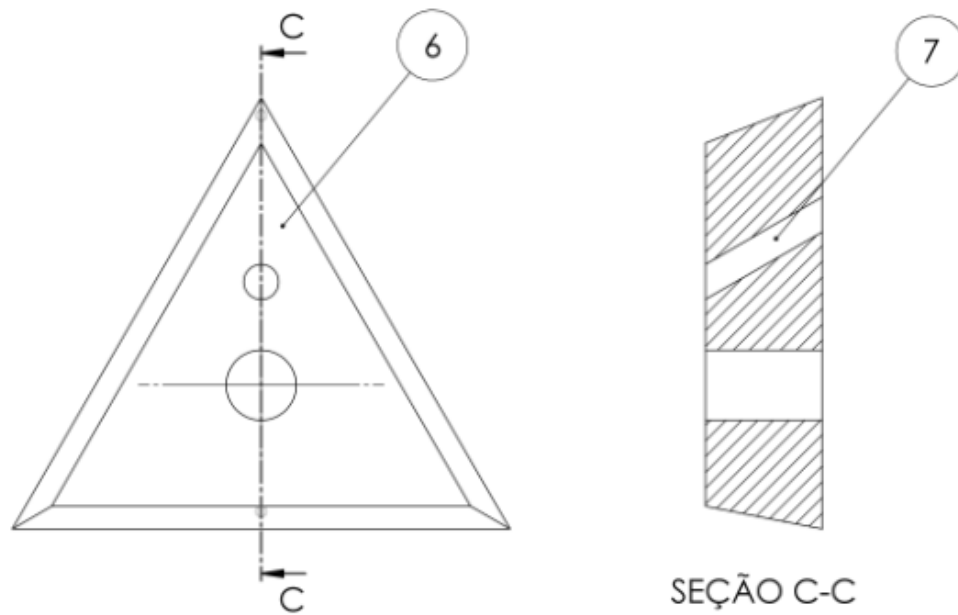


FIGURA 4

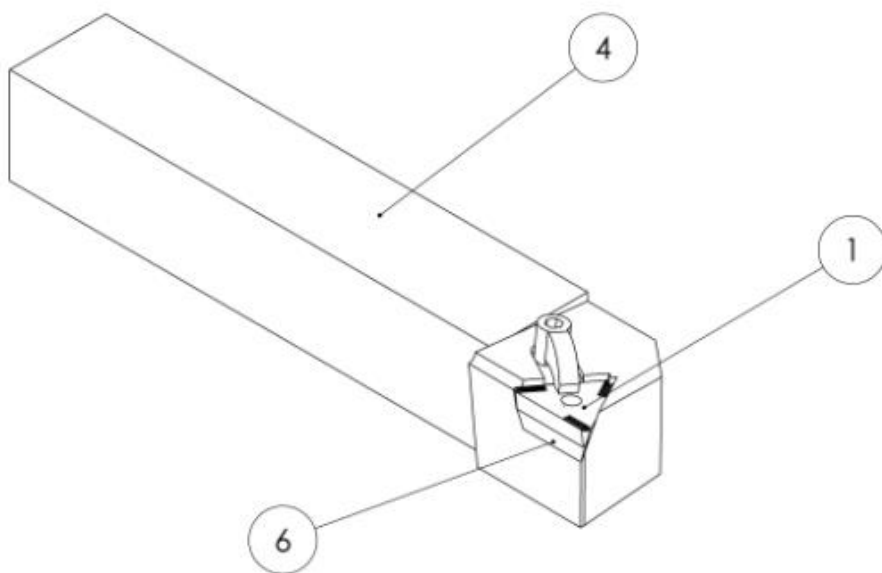


FIGURA 5

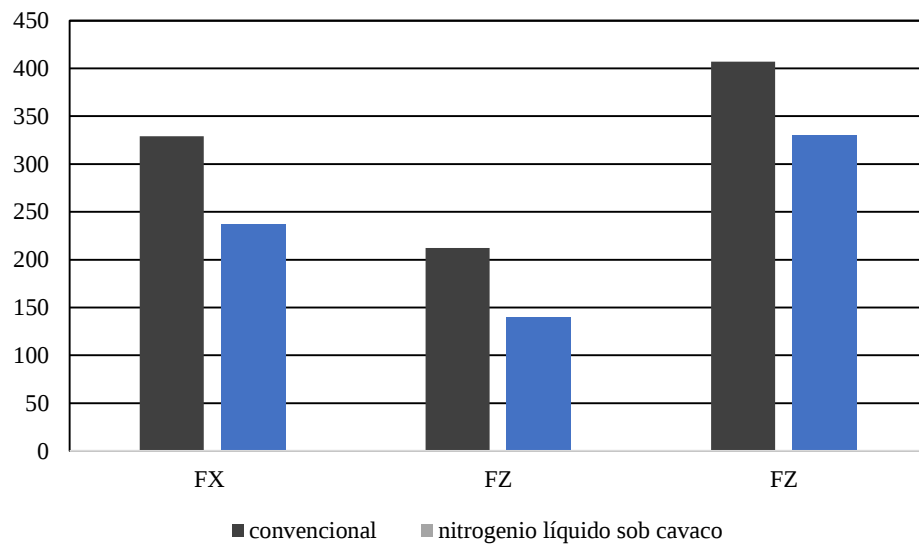
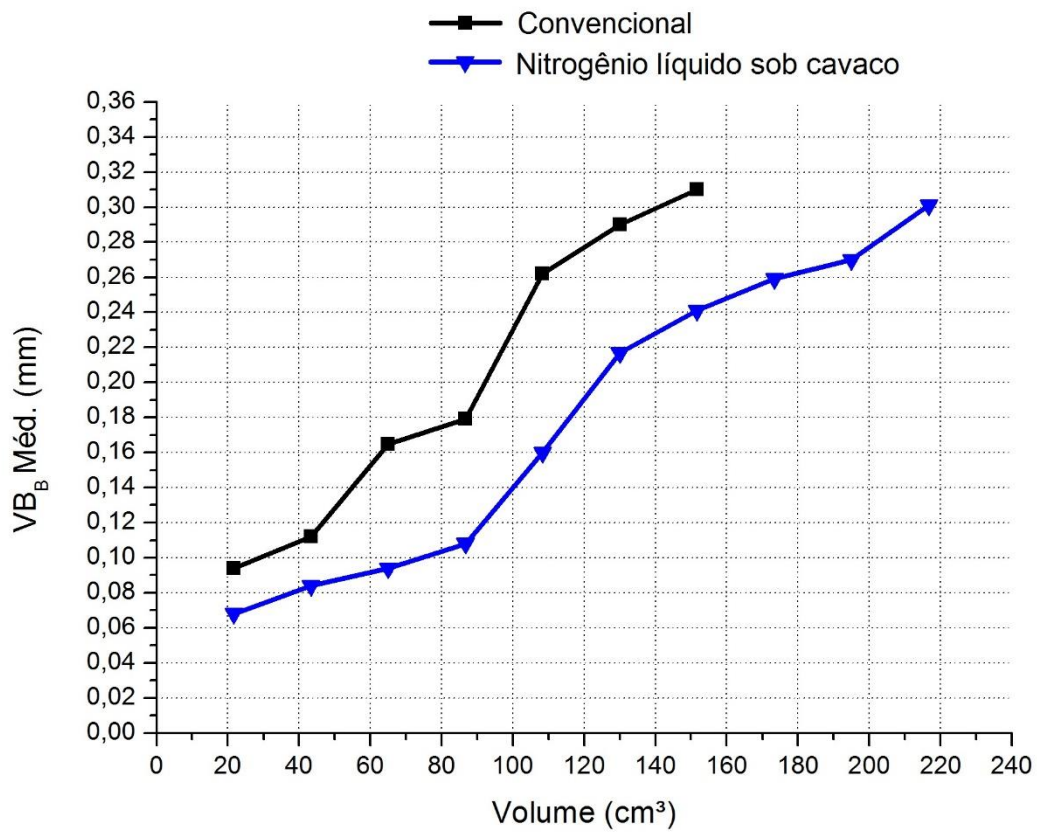


FIGURA 6



RESUMO

FERRAMENTA DE CORTE TEXTURIZADA PREENCHIDA COM MATERIAL DE ALTA CONDUTIVIDADE TÉRMICA

O presente invento, pertencente ao campo das engenharias, consiste em um aparato para aplicação de nitrogênio líquido na interface de contato entre cavaco e ferramenta de corte texturizada. Consistindo em um porta ferramentas modificado e uma ferramenta de corte texturizada, o presente invento apresenta a inovadora técnica de usinagem criogênica por meio da aplicação de nitrogênio líquido em regiões de contato inatingíveis para qualquer técnica de usinagem criogênica. A redução da área de contato promovida pela aplicação de ferramentas de corte texturizadas permite que a interface de contato cavaco-ferramenta seja atingida pelo nitrogênio líquido através de um micro canal modificado presente na região texturizada. O dispositivo possui características funcionais com aspecto de fundamental caráter inovador, apresentando grande avanço para o estado da técnica atual. Maior vida de ferramenta, menores custos agregados, menor tempo de produção e melhores condições de usinagem para materiais de baixa usinabilidade e superligas metálicas são apontadas como vantagens atreladas ao presente invento. São reivindicados o aparato e seu uso.