

ESTUDO DO DESGASTE DE FRESAS HSS NO FRESAMENTO DE CANAIS EM AÇO DE BAIXO CARBONO SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE LUBRIRREFRIGERAÇÃO

STUDY OF THE WEAR OF HSS CUTTERS IN LOW CARBON STEEL GROOVE MILLING UNDER DIFFERENT LUBRICATION AND REFRIGERATION CONDITIONS

¹BERTOLLI, Vinicius Rocha; ²CHAGAS, Ana Maria Martins; ³FRAGOSO, Kamira Miksza; ⁴RIBEIRO, Fernando Sabino Fonteque.

^{1à4}Departamento de Engenharia Mecânica – Centro Universitário das Faculdades Integradas de Ourinhos-Unifio/FEMM

RESUMO

No contexto da engenharia, os métodos de fabricação por usinagem representam grande importância no setor industrial, uma vez que podem conferir qualidade superficial e geométrica para o componente usinado, sendo que a relação entre ferramenta de corte e material de trabalho é fortemente influenciada pelas características dos materiais envolvidos. Nesse contexto, o fresamento apresenta destaque na usinagem por se caracterizar como um processo de fabricação com grande versatilidade na fabricação de componentes. Isto posto, o projeto realizado teve como foco a investigação dos efeitos do fresamento de canais em aço ABNT 1020 com a aplicação de fresas topo de aço rápido. Os métodos de fresamento em estudo serão a seco, com ar comprimido e com fluido de corte, realizados com velocidade de corte e velocidade de avanço constantes. Os parâmetros avaliados são corrente elétrica consumida, temperatura da peça e desgaste das fresas. Os resultados encontrados demonstram que as ferramentas de corte estiveram sujeitas a danos térmicos durante o fresamento, devido principalmente ao acúmulo de cavaco na região do canal fresado. Dentre os métodos avaliados, a aplicação de jato de ar comprimido permitiu maior remoção dos cavacos da região fresada, propondo melhores condições finais as ferramentas de corte.

Palavras-chave: Fresamento; Fluido de Corte; Ar comprimido; Engenharia.

ABSTRACT

In the context of engineering, machining manufacturing methods represent great importance in the industrial sector, since they can provide surface and geometric quality to the machined component, and the relationship between cutting tool and work material is strongly influenced by the characteristics of the materials involved. In this context, milling stands out in machining because it is characterized as a manufacturing process with great versatility in the manufacture of components. That said, the project carried out focused on the investigation of the effects of milling channels in ABNT 1020 steel with the application of high speed steel end mills. The milling methods under study will be dry, with compressed air and with cutting fluid, performed with constant cutting speed and feed rate. The evaluated parameters are consumed electric current, part temperature and cutter wear. The results found demonstrate that the cutting tools were subject to thermal damage during milling, mainly due to chip accumulation in the milled groove region. Among the methods evaluated, the application of compressed air jet allowed greater removal of chips from the milled region, proposing better final conditions for cutting tools

Keywords: Milling, Cutting Fluid, Compressed Air, Engineering.

INTRODUÇÃO

A usinagem é usada como meio para fabricação de peças através da remoção de cavaco, e desde os tempos antigos ela é usada com esse intuito. Os processos de usinagem podem apresentar-se em vários métodos, como por exemplo o fresamento.

O fresamento consiste na aplicação de uma ferramenta de corte rotativa, que remove cavaco através da combinação de rotação, avanço e profundidade de corte. O processo de fresamento tem como característica o movimento da peça em relação a ferramenta rotativa, sendo o eixo de sua rotação perpendicular em relação ao avanço. A geometria que se espera desse tipo de processo é a de uma superfície plana ou uma geometria diferente criada pela trajetória da ferramenta, por se tratar de um processo que envolve muitos tipos de peças que podem ser criadas, o fresamento se torna o meio de fabricação mais utilizado e mais versátil (GROOVER, 2014).

Essa remoção é realizada através do recalque e cisalhamento do material de trabalho, processo este característico pela geração de calor. Conseqüentemente a temperatura da ferramenta de corte aumenta, de acordo com o calor específico e a condutibilidade dos corpos em contato, além das dimensões das secções onde se escoia o calor (FERRARESI, 1970). O desgaste pode ocorrer por altas temperaturas, alto acúmulo de cavaco, carecendo de métodos que promovam aumento na vida da ferramenta de corte nestas situações (MACHADO et. al, 2015).

Tradicionalmente, a remoção de cavaco é acompanhada de métodos de lubrificação, o que permite a redução da temperatura nas regiões próximas a região de corte e prolonga a vida da ferramenta. Além disso, a aplicação de fluidos de corte tem papel importante na remoção de cavacos na interface de contato, permitindo que maior quantidade de fluido de corte atinja a ferramenta de corte e a peça de trabalho (DINIZ, 2013).

Apesar de promover inúmeros benefícios em sua aplicação, os fluidos de corte são responsáveis pelo aumento no custo do processo de usinagem e por questões ambientais relacionais ao seu uso e descarte. Ainda, com o desenvolvimento de materiais cada vez mais resistentes e a demanda para fabricações cada vez mais rápidas, o fluido de corte aplicado da maneira tradicional tem se mostrado ineficiente, levando assim ao estudos de métodos com maior eficiência em termos de custo e capacidade de refrigeração (MACHADO et. al, 2015).

No desenvolvimento da usinagem com alta velocidade existe uma tendência para ser realizada em condições a seco, principalmente no fresamento de materiais endurecidos, e um dos motivos deve-se ao fato de que para alguns formatos côncavos de peças fica difícil retirar o fluido da região de corte, diminuindo a visualização do operador da máquina durante o processo e aumentando os custos relativos ao processo de retirada do fluido (BRANDAO, 2006). Outra razão é apontada

por Vieira et al. (2001 apud BRANDAO, 2006), dizendo que diversos estudos de fresamento já demonstraram a ineficiência da aplicação de fluidos refrigerantes, do ponto de vista da vida da ferramenta.

O principal motivo de se trabalhar a seco ou com mínima quantidade de fluido é a necessidade de proteger o meio ambiente e reduzir custos com a produção, entretanto podem acontecer alguns problemas técnicos, um dos mais importantes é a redução da produtividade. Caso queira-se eliminar totalmente os fluidos refrigerantes durante um processo de usinagem, as ferramentas necessitam de coberturas que melhorem seu desempenho, de características que permitam a ausência do fluido refrigerante ou possuir microestruturas mais resistentes como no caso das ferramentas de diamante, cerâmicas ou CBN (ferramentas galvânicas de nitreto de boro cúbico adequadas para operações de usinagem em série). De acordo com a utilização de muitas combinações de coberturas, permite-se testar diversas ferramentas especiais com o intuito de desenvolver e melhorar o desempenho do processo e das novas ferramentas que vem surgindo na atualidade (BRANDAO, 2006).

Dessa maneira, métodos alternativos de refrigeração para processos mais exigentes devem ser pesquisados, compreendidos e colocados em pauta, coberturas de ferramentas também devem apresentar características mais eficientes para que suportem altas taxas de calor e mantenham o efeito lubrificante atual. Com isso, novas ferramentas e coberturas devem proporcionar um equilíbrio entre a melhoria das condições de corte e o meio ambiente, não afetando a produtividade, não gerando altos custos de implantações e não ocasionando mudanças no chão de fábrica atualmente conhecido (BRANDAO, 2006).

Assim, esse trabalho tem como objetivo apresentar a análise do fresamento de aço ABNT 1020 com ferramentas de aço rápido sem revestimento, aplicadas no fresamento topo de canais, sendo os ensaios realizados com auxílio de ar comprimido e o com fluido de corte, comparando-os a um processo a seco, ou seja, sem agentes que possam ajudar na usinagem. Para que a análise seja feita serão usados os seguintes parâmetros: medição da temperatura na peça de trabalho, medição da corrente consumida, observação da remoção dos cavacos, verificação do desgaste ferramenta e medição dos canais fresados. Todos os ensaios foram realizados mantendo-se a velocidade de corte e a velocidade de avanço.

MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção serão apresentados as metodologias e equipamentos aplicados aos ensaios, bem como a especificação dos pré ensaios e a determinação final dos ensaios de usinagem.

Todos os ensaios de fresamento foram realizados no Laboratório de Processos de Fabricação da UNIFIO. A máquina ferramenta adotada foi uma fresadora do tipo universal, modelo VH 1, do fabricante Clever, conforme mostrado na Figura 1. Esta fresadora possui mesa de trabalho de 800 x 240 mm, com Curso longitudinal (eixo x) de 400 mm, curso transversal (eixo y) de 220 mm e curso vertical (eixo z) de 330 mm, sendo equipada com um painel para controle digital do posicionamento.

Figura 1 - Fresadora universal Clever VH-1



Para a realização da proposta de trabalho, a fresadora indicada foi utilizada na posição vertical, tendo em vista a aplicação de um sistema de fixação do tipo pinça no sistema de eixo principal por cone ISO-40. O fresamento do tipo topo foi realizado com fresas de HSS (*high speed steel*) de 6 mm de diâmetro, da marca Rocast, com 4 cortes, sem revestimento. Em se tratando de uma investigação científica inicial, a escolha do diâmetro e do material da fresa foram em concordância com a escolha da velocidade de corte e avanço adotadas, assim como nos possíveis desgastes e danos que a ausência de revestimentos poderia provocar nas ferramentas.

O material de trabalho foi o aço ABNT 1020, laminado a frio, adquirido no formato de barra com seção quadrada de 30 x 30 mm e comprimento de 100 mm. A escolha deste material é justificada visto que tradicionalmente, aços de baixo teor de carbono são utilizados no fresamento topo com fresas de HSS para a fabricação de estrias, rasgos de chaveta, dentro outros, sendo submetidos posteriormente a tratamentos de endurecimento superficial. A composição química de um aço ABNT 1020 é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição química em peso (%) do aço ABNT 1020.

Material	C	Mn	P _{máx}	S _{máx}
Aço ABNT 1020	0,18 – 0,23	0,30 – 0,60	0,030	0,050

Os parâmetros de corte adotados foram para os testes e ensaios são descritos na Tabela 2. Estes parâmetros foram adotados em função das informações técnicas fornecidas pelo fabricante para fresas de aço rápido de acordo com a norma DIN 844. Assim, foram verificados os parâmetros permissíveis na fresadora e utilizados conforme a viabilidade da máquina ferramenta.

Tabela 2 - Parâmetros de usinagem

Parâmetro	Valor adotado
Velocidade de corte (V_c)	39,56 m/min
Rotação (n)	2100 rpm
Penetração da fresa (a_e)	6 mm
Profundidade de corte (a_p)	1,5 mm
Velocidade de avanço (V_f)	150 mm/min
Avanço (f)	0,071 mm/rev
Avanço por dente (f_z)	0,286 mm/dente

Durante o fresamento, foram inseridos termopares na peça. Esses termopares foram posicionados em furos com 3 mm de diâmetro e 10 mm de profundidade, distantes a 6 mm da superfície da peça e a 75 mm entre os mesmos. A representação da peça e do posicionamento dos termopares é mostrada na Figura 2. Esse

posicionamento garantiu que o termopar ficasse a 2 mm da região fresada. Tendo sido realizados furos de 3 mm, e considerando o diâmetro da junta de solda dos termopares de 2 mm, os furos foram preenchidos com pasta térmica, reduzindo a presença de bolsas de ar e aumentando a relação de contato entre termopar e peça. Ainda, ressaltasse que os termopares foram fixados com auxílio de um gabarito posicionador, permitindo maior facilidade no posicionamento do conjunto em todas as peças avaliadas. Este sistema é apresentado na Figura 3.

Figura 2 - Detalhamento das peças de trabalho.

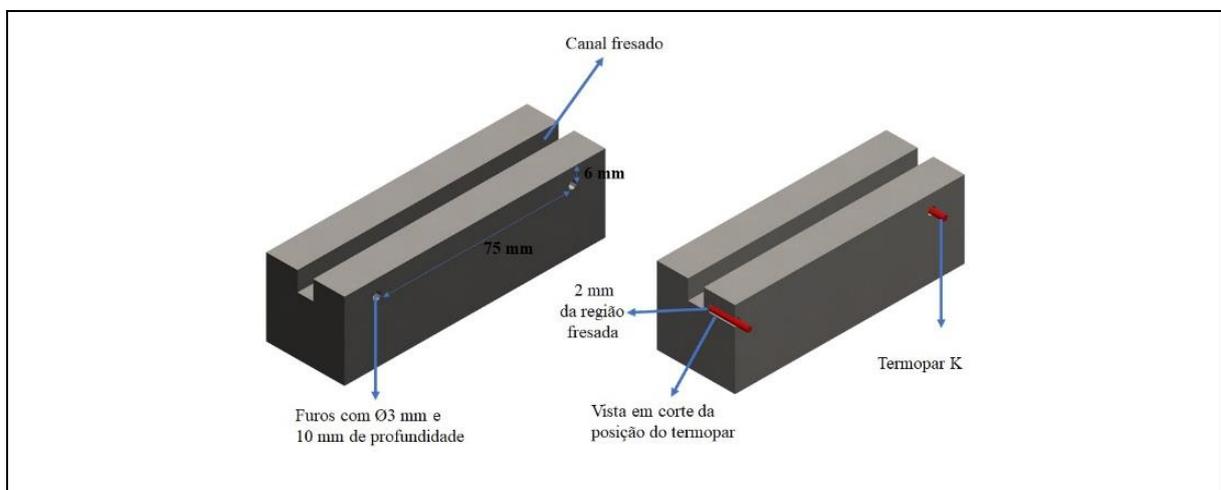
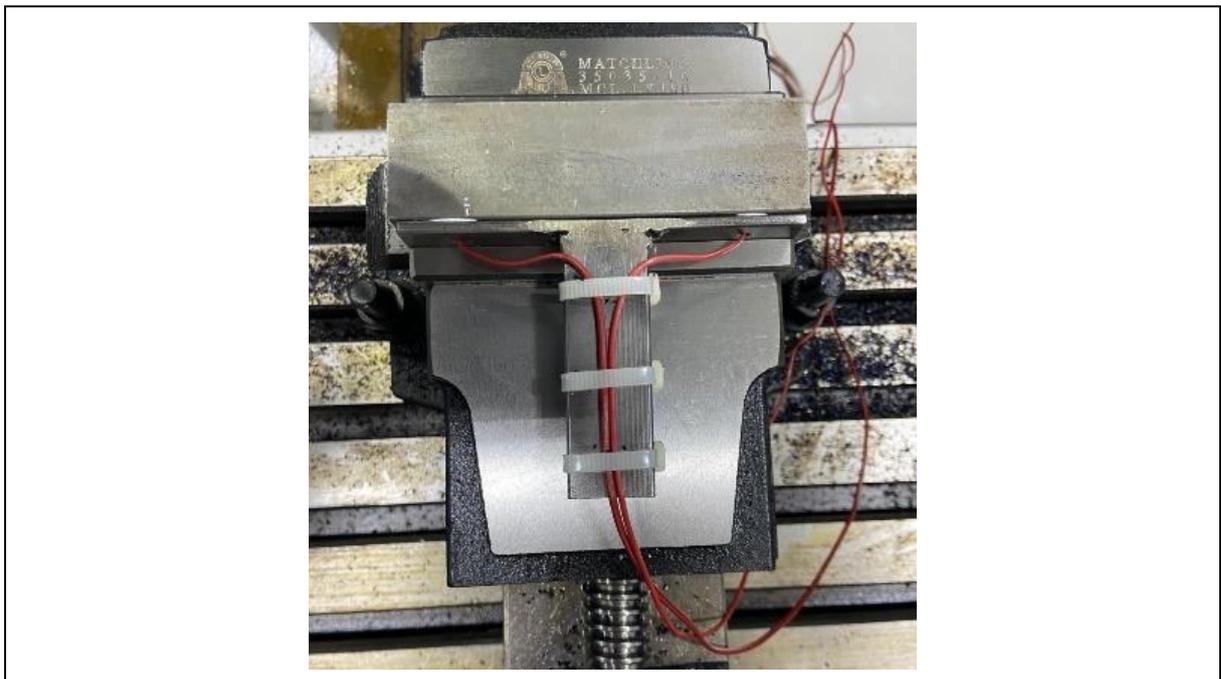


Figura 3 - Gabarito para fixação dos termopares.

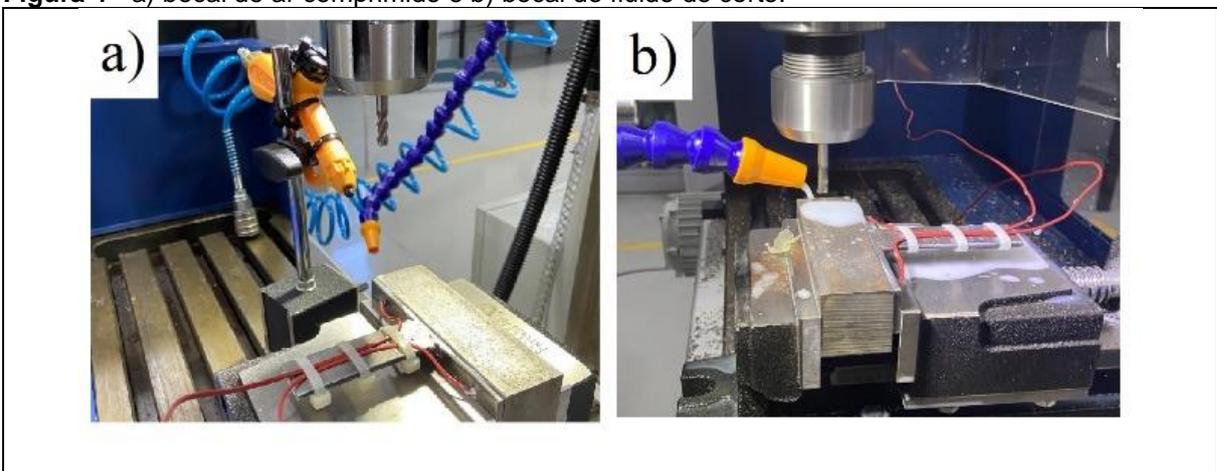


Os termopares adotados foram do tipo K, compostos por Chromel e Alumel, com faixa de operação de -200 à 1260°C , com erro de $\pm 2,2^{\circ}\text{C}$. Para a aquisição de dados de temperatura, os termopares foram ligados a um módulo de aquisição de dados fabricado pela National Instruments, modelo USB 6008, que foi conectado ao notebook. Os dados foram adquiridos pelo software de aquisição, sendo os dados transmitidos posteriormente para o Software Excel.

Além disso, o consumo de corrente elétrica foi avaliado através da aplicação de um alicate amperímetro da marca Calmon. Os dados foram registrados por vídeo e posteriormente registrados em uma planilha através da observação em pontos de 10 segundos de gravação. Apesar de não ser o método mais preciso para avaliação, este recurso foi aplicado devido a simplicidade para sua implementação.

Para esta avaliação, foram aplicados o fresamento à seco, com jato de ar comprimido e com fluido de corte. O fornecimento de ar comprimido foi realizado por um compressor de 10 PCM, com motor de 2 cv e tanque de 100 litros, da marca Atlas Copco, sendo aplicada vazão máxima no bocal. Para o fresamento com fluido de corte, fez-se de um óleo solúvel semissintético ME-1, da fabricante Quimatic, em emulsão de 1 para 20. O fluido de corte emulsionado foi bombeado pelo próprio conjunto de lubrificação da fresadora, dotada de um reservatório e uma bomba de recalque de 1/8 cv, com vazão máxima de 12 l/min. O posicionamento do bocal do ar comprimido e do bocal do fluido de corte são apresentados nas Figura 4a e Figura 4b, respectivamente.

Figura 4 - a) bocal de ar comprimido e b) bocal de fluido de corte.



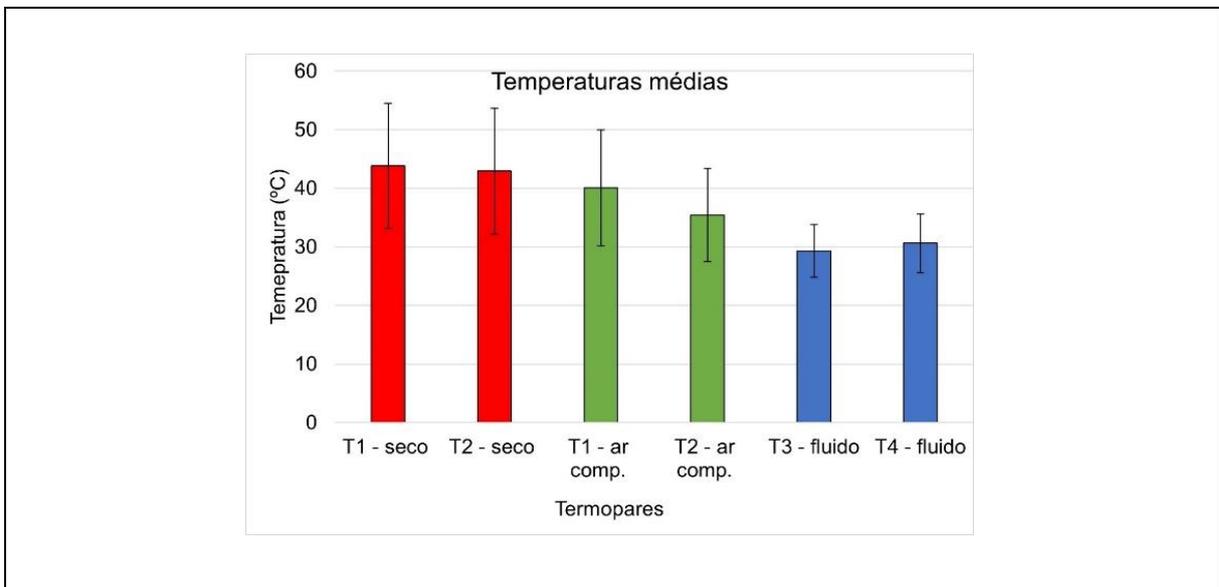
Por fim, as ferramentas de corte foram observadas em um microscópio tipo Lupa, da marca Opton, em ampliações de 20x. Essas imagens foram capturas por uma câmera digital juntamente a um software de aquisição de imagens, presentes no Laboratório de Metalografia da UNIFIO. Além disso, medições nos canais fresados foram realizadas no Laboratório de Metrologia da UNIFIO, sob condições controladas de temperatura, à 22° C. Para as medições, foi utilizado um paquímetro digital.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão abordados os resultados experimentais obtidos, frente a análise de dados aquisitados e observações nas ferramentas de corte.

As temperaturas médias medidas durante o fresamento estão apresentadas na Figura 5. Através de suas análises, pode-se observar a temperatura mais estável nos dois termopares foi no método a seco, porém, a temperatura mais baixa, foi no método com fluido de corte. O método com ar comprimido teve sua temperatura média entre os outros dois métodos.

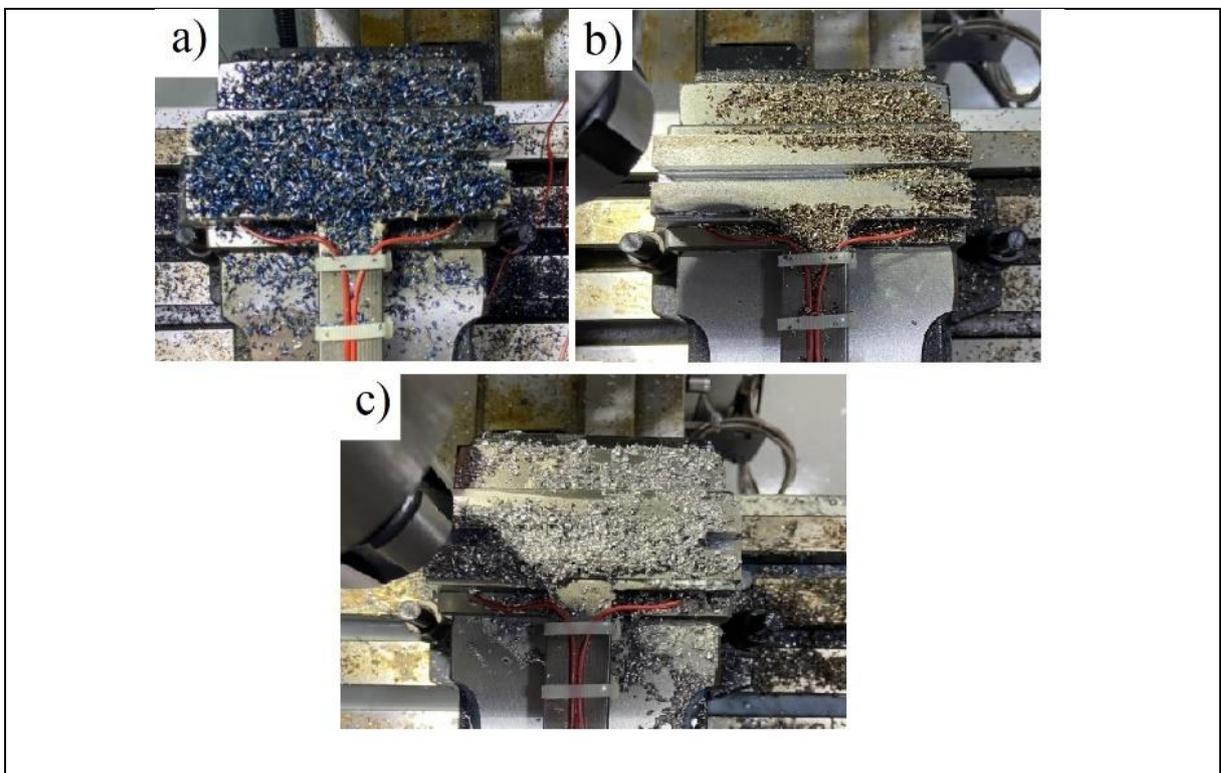
Figura 5 - Temperatura média para as condições avaliadas.



Contudo nota-se que o fluido de corte realmente fez seu papel em dissipar o calor na área da usinagem e manter uma temperatura mais baixa durante o processo. Todavia, algumas ferramentas utilizando fluido de corte apresentaram danos, significando que, para este caso avaliado, a temperatura não é o principal fator relacionado ao desgaste, e sim o acúmulo de cavaco.

No método a seco o acúmulo de cavaco é apresentado na Figura 6a. O auto volume de cavaco colaborou para o aquecimento da região, visto as altas temperaturas aos quais o mesmo é removido. Observando na Figura 6c, verifica-se um cavaco mais claro, indicando que a variação de temperatura do cavaco foi bem menor devido a presença do fluido de corte. Todavia, ressaltasse que a vazão do fluido de corte adotada não permitiu uma grande remoção dos cavacos dentro do canal fresado, o que pode ter auxiliado nos danos observados em algumas ferramentas de corte, como será demonstrado a seguir. Enquanto no método com ar comprimido mostrou o mais eficiente em relação ao acúmulo de cavaco (Figura 6b), permitindo a ferramenta trabalhar com menor presença de detritos nas região de corte.

Figura 6 - Acúmulo de cavaco na peça de trabalho em diferentes condições.



A geração de calor durante a usinagem sem fluido reduz a resistência mecânica do volume de material na formação do cavaco, aumentando sua ductilidade de tal maneira que a adesão do cavaco na aresta de corte desgastada fica facilitada. Segundo a conclusão de Brito (2012), na usinagem sem fluido de corte o desgaste de flanco da ferramenta é exponencial, devido a energia direcionada pelo processo de fresamento. Em contrapartida, o amolecimento térmico que é benéfico em algumas condições para a remoção de material fica limitado a resistência térmica suportada pelo material de ferramenta de corte. Neste caso, ferramentas de aço rápido apresentam resistência até 600° C (DINIZ, 2013).

Isto posto, as fresas topo sem auxílio de limpeza por jato de ar comprimido ou fluido de corte estiveram sujeitas a maiores danos térmicos. Na Figura 7 é indicada uma das 3 fresas aplicadas no fresamento à seco. A visível alteração na cor permite inferir que houveram danos térmicos significativos nessas condições. Aliado a isso, a alta presença de cavacos na região do canal fresado culminou com a falha catastrófica da ferramenta de corte.

Figura 7 - Fresa topo no fresamento à seco.



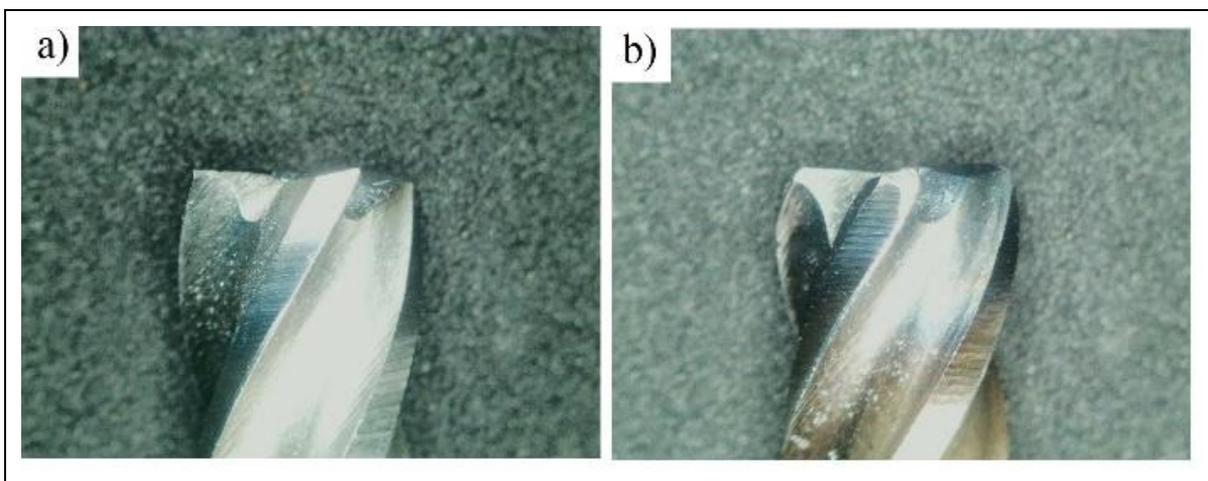
A aplicação do jato de ar comprimido pode remover boa parte dos cavacos na região do canal fresado, e, com isso, permitiu que o ar comprimido atingisse as arestas de corte e a peça, ambas em elevadas temperaturas. Com isso, a fresa indicada na Figura 8, demonstra menores níveis de danos térmicos se comparada com o corte à seco.

Para a aplicação do fluido de corte, as ferramentas apresentaram menores danos se comparadas as anteriores, conforme apresentado na Figura 9a. Apesar disso, a aplicação de fluido de corte não se mostrou altos níveis de repetibilidade, tendo em vista que em um dos 3 ensaios, o canal fresado apresentou elevado nível de cavaco, culminando em elevado desgaste térmico e nas arestas de corte, conforme indicado na Figura 9b. Isto posto, fica evidente que o correto posicionamento do bocal de aplicação do fluido de corte, juntamente a vazão adequada é ponto decisivo para a eficácia da usinagem com fluido de corte, visto que nesta avaliação, apenas a refrigeração não foi suficiente para melhor condição final da fresa.

Figura 8 - Fresa topo utilizada no fresamento com ar comprimido.



Figura 9 - Fresas aplicadas ao fresamento com fluido de corte.



Durante o fresamento a seco, a corrente permaneceu mais constante nos 4,4 amperes para todas as condições, sendo observado um pico de 4,9 amperes no momento da quebra da aresta de corte do segundo ensaio. Para a aplicação de jato de ar comprimido durante o fresamento, a corrente consumida esteve entre 3,9 e 4,0 amperes. Entende-se que essa estabilidade ocorreu por conta de a quantidade de cavaco acumulada ser mínima, a temperatura permanecer estável e o desgaste da ferramenta ter sido uniforme.

Utilizando fluido de corte, a corrente consumida apresentou valores médios de 4,2 a 4,3 amperes, devendo-se considerar um consumo de 0,5 amperes devido ao sistema de bombeamento. Dessa forma, o fluido fez seu papel de facilitar a remoção de cavaco, diminuir o atrito na área de corte e aumentar a vida da ferramenta. No entanto, durante o fresamento com a ferramenta indicada na Figura 9b, a corrente obteve picos de 4,4 amperes devido ao desgaste severo apresentado.

Essas variações nas correntes consumidas estão diretamente ligadas as forças de corte, indicando que variações na lubrificação afetam diretamente este parâmetro.

CONCLUSÕES

Diante dos resultados encontrados, algumas conclusões puderam ser realizadas a respeito do fresamento de topo de aço ABNT 1020 utilizando ferramenta de aço rápido sob condições de refrigeração como o ar comprimido, fluido de corte e na usinagem a seco.

Nos ensaios sem sistema de refrigeração concluiu-se que o acúmulo de cavaco foi o principal fator por diminuir drasticamente a vida da ferramenta pela presença de danos térmicos. A cada passe realizado, a temperatura ia subindo exponencialmente, diminuindo a eficiência das ferramentas para usinar o material. Em relação as ferramentas utilizadas sem refrigeração, houve uma quebra dentre três ferramentas, podendo ser visualizado com clareza o momento da quebra com a utilização do alicate amperímetro.

Nos ensaios com refrigeração de ar comprimido foi notável que sua eficiência foi a mais alta em comparação aos outros métodos utilizados, pois observando as ferramentas após os ensaios, nota-se mínimo desgaste e quase nenhuma mudança de cor. Em relação a variação da corrente durante os ensaios com ar comprimido, verifica-se um padrão bem estável, demonstrando que o cavaco não acumulou e o percurso da ferramenta não foi comprometido, comprovando as figuras dos desgastes com ar comprimido.

Durante a aplicação de fluido de corte, concluiu-se que mesmo com aplicação do fluido sob abundância na região de corte nos parâmetros utilizados, as fresas topo demonstram dificuldade para usinar, pois observando as imagens dos desgastes, nota-se mudança de coloração e até quebra na ferramenta. Além disso, com o alicate amperímetro observou-se o maior consumo energético da máquina fresadora, pois o uso da bomba do fluido aumenta consideravelmente a corrente analisada.

Dessa forma, os desgastes das ferramentas foram fortemente influenciados pela questão da remoção do cavaco na região de corte. O fluido de corte nas condições avaliadas, apesar de gerar menor temperatura na medição, não foi capaz de reduzir a temperatura na aresta de corte devido à grande presença de cavaco na região. Somada a isso, a perda de dureza característica no desgaste térmico somada ao menos amolecimento térmico das fresas topo culminou em maior desgaste de ponta nas fresas topo.

REFERÊNCIAS

BRANDAO, L. C. **Estudo experimental da condução de calor no fresamento de materiais endurecidos utilizando altas velocidades de corte**. 2006. 198f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da Usinagem Dos Materiais** - 8ª Edição. São Paulo: Editora Artliber, 2013.

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da usinagem dos metais**. São Paulo: Editora Blucher, 1970.

GERDAU. **Manual de aços GERDAU**, Ed. 2003, Aços Finos Piratini, 2003.

GROOVER, Mikell P. **Introdução aos Processos de Fabricação**. Rio de Janeiro. Grupo GEN, 2014.

MACHADO, Álisson R.; COELHO, Reginaldo T.; ABRÃO, Alexandre M. **Teoria da usinagem dos materiais**. São Paulo: Editora Blucher, 2015.

VIEIRA, J.M.; MACHADO, A.R.; EZUGWU, E. O (2001). Performance of cutting fluids during face milling of steels. **Journal of Materials Processing Technology**. v.116, n.2/3, p. 244-251, Oct.