



# AVALIAÇÃO DO DESGASTE EM FERRAMENTAS DE HSS NO FRESAMENTO DO AÇO AISI P20<sup>1</sup>

Rodrigo Panosso Zeilmann<sup>2</sup>  
Tiago Vacaro<sup>3</sup>  
Fernando Moreira Bordin<sup>4</sup>  
Matheus Vidor<sup>5</sup>

## Resumo

O desempenho econômico em operações de usinagem é estabelecido pela combinação entre parâmetros de processo, ferramentas de corte e material usinado. De fato, o aumento da vida útil da ferramenta e da quantidade de material removido é consequência dos ajustes gerados por esses fatores. Dessa forma, o objetivo deste estudo é entender melhor o efeito da variação de parâmetros de usinagem, como as profundidades axial e radial de corte, sobre o desgaste de ferramentas no processo de fresamento do aço AISI P20 com a utilização de ferramentas de aço-rápido. O trabalho desenvolveu-se por ensaios experimentais de longa duração, seguindo normas e procedimentos previamente estabelecidos e recomendados pela literatura. Foram realizados testes nos quais utilizou-se parâmetros de profundidade axial de corte maior, menor e igual à profundidade radial de corte, avaliando-se o desgaste das ferramentas e as taxas de remoção de material. Os ensaios indicaram os parâmetros mais adequados para o processo testado. A influência dos parâmetros mostrou-se significativa, tendo em vista que os resultados medidos apontam valores que minimizam os desgastes das ferramentas e maximizam os tempos de vida e taxas de material removido.

**Palavras-chave:** Abrasão; Desgaste de flanco; Condições de usinagem; Seleção de parâmetros.

## EVALUATION OF WEAR IN HSS TOOLS ON MILLING OF AISI P20 STEEL

### Abstract

The economic performance of the machining operations is established by the combination of process parameters, cutting tools and machined material. In fact, the increase of tool life and of the quantity of removed material is consequence of the adjustments of these factors. So, the objective of this study is to better understand the effect of machining parameters variation, such as axial and radial depth, on the tool wear in the milling process of AISI P20 steel using high-speed steel tools. The study was developed through long duration experimental tests, following the norm and rules previously established and recommended by the literature. Tests were performed using axial depth greater, lesser and equal to the radial depth, evaluating the tools wear and the material removal rates. The tests indicated the most adequate parameters for the tested process. The parameters influence proved to be significant, since the measured results point to values that minimize the tools wear and maximize the tools life and material removal rates.

**Key words:** Abrasion; Flank wear; Machining conditions; Parameters selection.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 9º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, 10 e 11 de agosto de 2011, São Paulo, SP.

<sup>2</sup> Professor Doutor. Grupo de Usinagem (GUS), Centro de Ciências Exatas e Tecnologia (CCET), Universidade de Caxias do Sul (UCS).

<sup>3</sup> Engenheiro de Produção. Grupo de Usinagem (GUS), Centro de Ciências Exatas e Tecnologia (CCET), Universidade de Caxias do Sul (UCS).

<sup>4</sup> Engenheiro Mecânico. Grupo de Usinagem (GUS), Centro de Ciências Exatas e Tecnologia (CCET), Universidade de Caxias do Sul (UCS).

<sup>5</sup> Bolsista. Grupo de Usinagem (GUS), Centro de Ciências Exatas e Tecnologia (CCET), Universidade de Caxias do Sul (UCS).



## 1 INTRODUÇÃO

Com o rápido avanço das tecnologias e processos de manufatura, a compreensão e adequação das estratégias de manufatura tornam-se essenciais, tendo em vista o tempo de produção de um componente. A usinagem é uma das principais técnicas de manufatura e, dentre os diferentes processos, o fresamento destaca-se na indústria de moldes e matrizes.

O fresamento é um processo capaz de reproduzir as mais variadas geometrias e formas, devido à alta versatilidade e à grande gama de ferramentas. O processo é caracterizado pelo ciclo intermitente, ou seja, o aquecimento da ferramenta durante o corte seguido pelo resfriamento do gume após deixar a zona de corte, e pelo elevado atrito com a superfície usinada. Portanto, a ferramenta é submetida a elevadas solicitações térmicas e mecânicas.<sup>(1)</sup>

Sob a ação desses fatores, a ferramenta está propícia a sofrer desgaste e, por fim, falha catastrófica. Souto<sup>(2)</sup> define o desgaste de ferramentas no fresamento como a perda progressiva de material, causado pela ação de variações cíclicas de carregamento e temperatura, podendo levar à alteração da geometria de corte.

Os mecanismos de desgaste podem ser significativamente afetados pelas condições de usinagem. Segundo Abou-El-Hossein et al.<sup>(3)</sup> os parâmetros profundidade axial ( $a_p$ ) e radial ( $a_e$ ) de corte exercem grande influência nas forças de corte, sendo estes fatores responsáveis pela variação dos desgastes de ferramentas. Ahmadi e Ismail<sup>(4)</sup> citam que a seleção inadequada do valor de profundidade axial pode causar instabilidade na zona de corte, aumentando os esforços necessários para remoção do cavaco.

Habeeb et al.<sup>(5)</sup> encontraram resultados para o fresamento de uma liga de níquel apontando que menores profundidades axiais de corte propiciaram um desgaste de flanco típico. O aparecimento do gume postiço ocorreu com a utilização de maiores profundidades. De acordo com Asif et al.<sup>(6)</sup> o desgaste de flanco ocorre quando há um contato peça/flanco, sendo que o aumento do mesmo faz com que se reduza significativamente a qualidade da superfície usinada, além de provocar o aumento das forças de corte.

Diversos autores verificaram a influência da profundidade radial em relação à vida da ferramenta. Estudos de Krain, Sharman e Ridgway<sup>(7)</sup> indicaram que, quando avaliada a variação da profundidade radial, a vida da ferramenta tendeu a aumentar com o aumento da  $a_e$ . Este resultado foi atribuído à estratégia de corte concordante, onde maiores cargas mecânicas agem na saída da ferramenta em baixas profundidades radiais, devido à maior espessura do cavaco. Alauddin, El-Baradie e Hashmi<sup>(8)</sup> também verificaram um aumento da vida da ferramenta com o aumento da profundidade radial, tanto para a estratégia de corte concordante quanto discordante.

Falhas na ferramenta de corte (desgaste e quebra) representam aproximadamente 20% do tempo de inatividade de uma máquina-ferramenta, e o desgaste das ferramentas tem impacto direto na qualidade superficial, precisão dimensional e, em última análise, no custo do produto finalizado.<sup>(9)</sup>

Neste contexto, este trabalho tem por objetivo avaliar o desgaste sofrido pelas ferramentas no processo de fresamento com ferramentas de aço-rápido, tendo em vista a variação dos parâmetros de usinagem  $a_p$  e  $a_e$ , mantendo-se velocidade de corte e avanço constantes.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados ensaios de fresamento de longa duração, com avaliação sistemática da evolução do desgaste das ferramentas de corte. Como critérios de fim de vida das ferramentas foram adotados: desgaste de flanco máximo ( $VB_{\max}$ ) de 0,6 mm; ou lascamento afetando significativamente o gume da ferramenta.

A máquina-ferramenta utilizada nos ensaios experimentais foi um Centro de Usinagem Dyna Myte, modelo DM 4500, com rotação máxima no eixo-árvore de 6.000 rpm e potência de 7,5 kW. Para a avaliação e medição do desgaste das ferramentas foi utilizado um estereoscópio trinocular de medição universal. A Figura 1 mostra imagens da máquina-ferramenta e do estereoscópio utilizados.



**Figura 1.** Fotografias da máquina-ferramenta e do sistema de avaliação de ferramentas utilizados nos ensaios experimentais.

O material utilizado para a confecção dos corpos-de-prova foi o aço AISI P20, com dureza entre 36 HR<sub>c</sub> e 38 HR<sub>c</sub>. A Tabela 1 mostra a composição química do material utilizado nos ensaios.

**Tabela 1.** Composição química do aço AISI P20

C [%]	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	Mn [%]
0,36	1,80	0,20	0,80	1,60

As ferramentas utilizadas foram fresas inteiriças de aço-rápido M2 não revestidas, de dois tipos diferentes e com geometrias distintas, cujas principais características são apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2.** Características das ferramentas empregadas nos ensaios

Ferramenta	Diâmetro [mm]	Número de gumes	Tipo	Ângulo de folga $\alpha$ [°]	Ângulo de saída $\gamma$ [°]
Fresa HSS (DIN 844)	10	4	A	11,5	13,2
			B	17,8	8,6

A Figura 2 apresenta imagens do topo e do gume principal das ferramentas, onde podem ser observadas as diferenças entre as geometrias das mesmas.

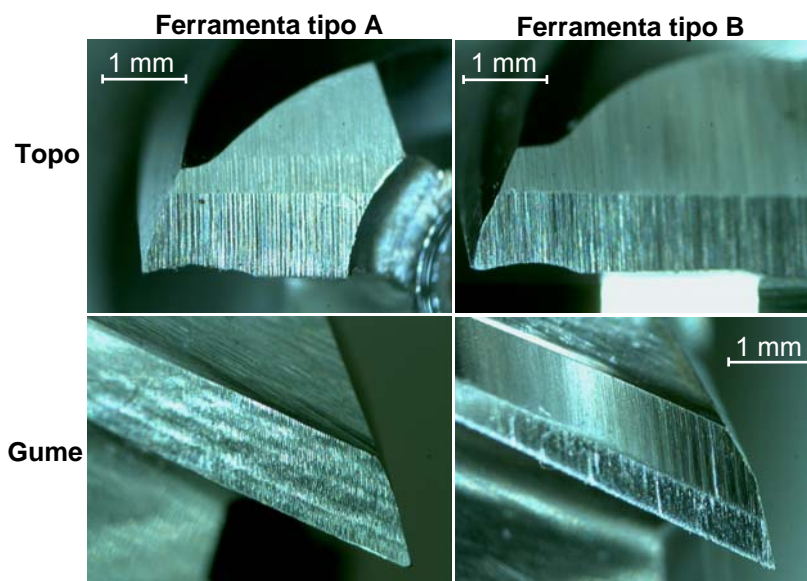


Figura 2. Imagens de detalhes da geometria das ferramentas.

Nas imagens de topo, pode-se observar que a ferramenta do tipo A apresenta um rebaixo circular no centro da fresa. Já nas imagens do gume, verifica-se que a ferramenta do tipo B possui um chanfro no gume principal.

Os diversos parâmetros de corte utilizados nos ensaios foram definidos com base na realização de pré-testes. Foram testadas três diferentes condições: profundidade axial de corte inferior, superior e igual à profundidade radial de corte ( $a_p < a_e$ ,  $a_p > a_e$  e  $a_p = a_e$ ), mantendo os valores de velocidade de corte e avanço constantes. Na Tabela 3 são apresentados os valores dos parâmetros para as diferentes condições.

Tabela 3. Parâmetros de corte utilizados nos ensaios experimentais

Condição	$a_p$ (mm)	$a_e$ (mm)	$v_c$ (m/min)	$f_z$ (mm)
$a_p < a_e$	0,4	3,33	30	0,1
$a_p > a_e$	1,33	1	30	0,1
$a_p = a_e$	1,15	1,15	30	0,1

É importante ressaltar que os valores das profundidades axial e radial foram definidos de forma que o valor da área da seção de corte fosse igual nas três diferentes condições.

### 3 RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados obtidos nos ensaios experimentais realizados. Foi realizado o acompanhamento da vida das ferramentas ao longo do processo, além de análises dos mecanismos e tipos de desgastes. A Figura 3 apresenta os gráficos de vida das ferramentas dos tipos A e B nas diferentes condições testadas.

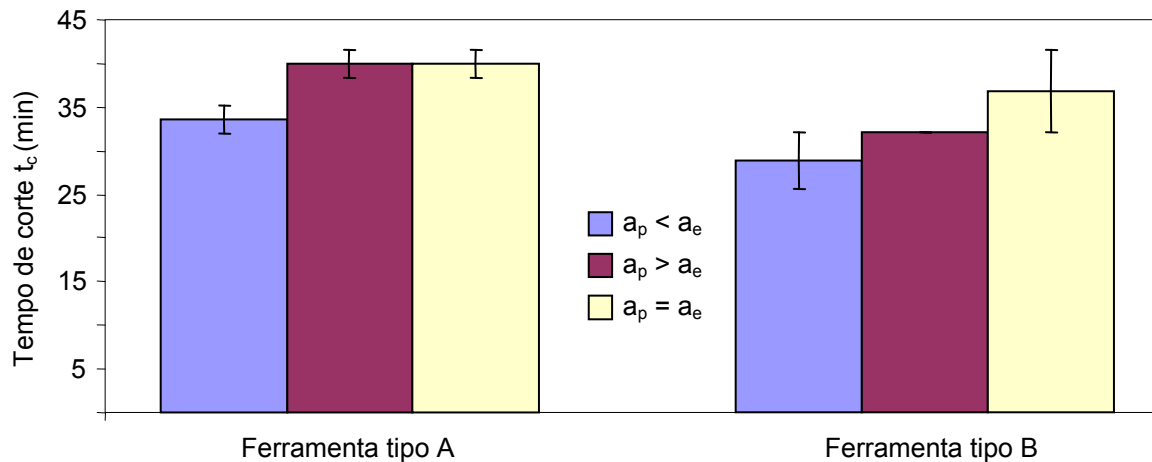


Figura 3. Gráficos de vida das ferramentas nas diferentes condições testadas.

Para a ferramenta do tipo A, a menor vida da ferramenta foi obtida na condição  $a_p < a_e$ , e as demais condições apresentaram vidas médias iguais. Já para a ferramenta do tipo B, considerando-se a incerteza estatística, não há variação significativa entre as diferentes condições. Porém, pode-se apontar uma tendência de menores vidas para a condição  $a_p < a_e$ , e de maiores vidas para a condição  $a_p = a_e$ .

A Figura 4 apresenta os gráficos do comportamento de desgaste das ferramentas utilizadas nas diferentes condições testadas.

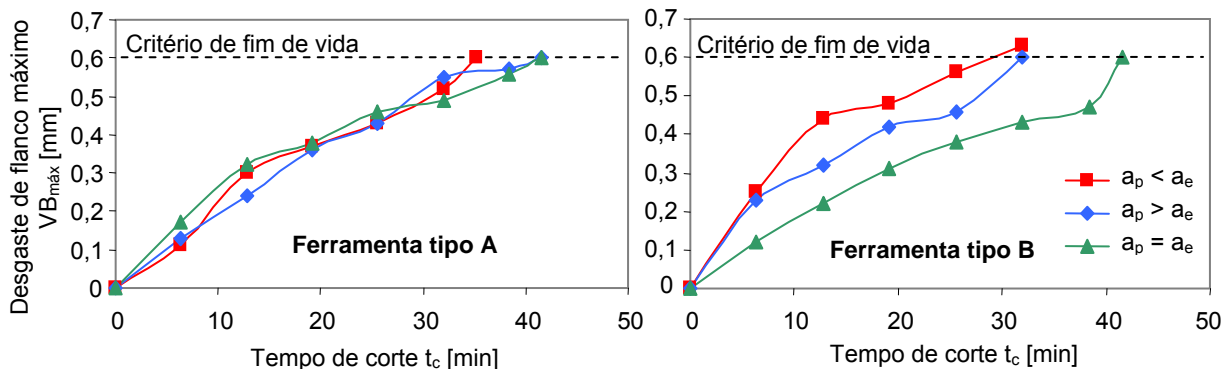
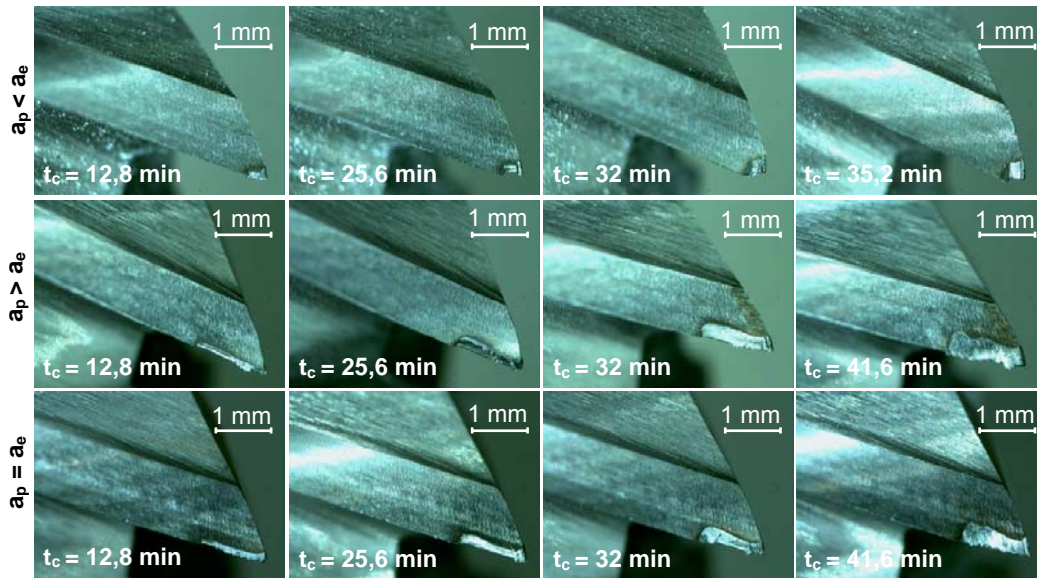


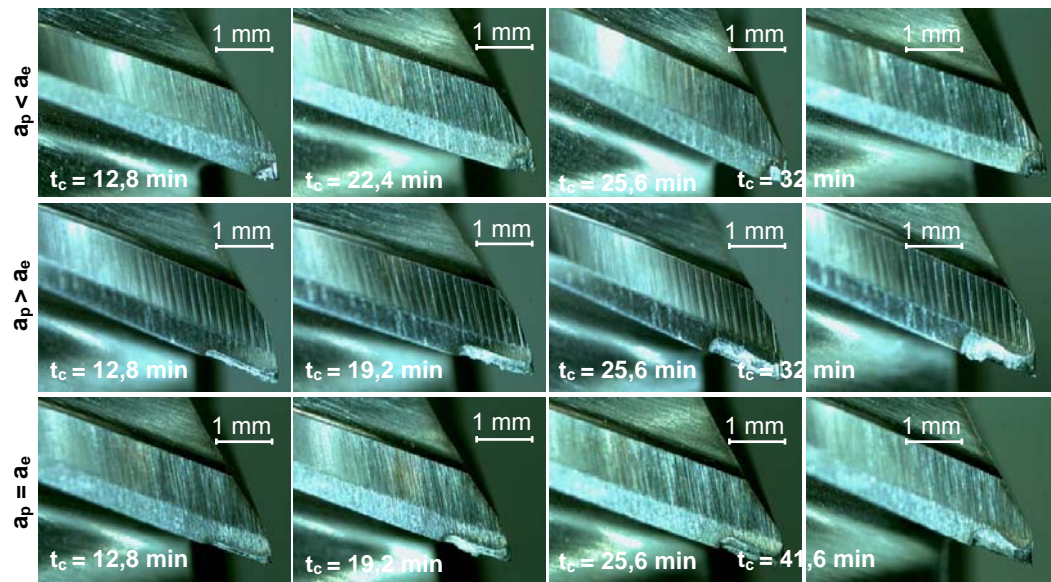
Figura 4. Gráficos do comportamento de desgaste de ferramentas nas diferentes condições testadas.

Pela análise do gráfico, observa-se que as ferramentas do tipo A apresentaram um comportamento de desgaste semelhante nas três condições de teste, enquanto que nas do tipo B foram verificadas certas diferenças no comportamento para as condições ensaiadas. No resultados das ferramentas do tipo B, a condição  $a_p < a_e$  apresenta um desgaste inicial mais acentuado, ao passo que um menor desgaste inicial é observado na condição  $a_p = a_e$ .

As Figuras 5 e 6 ilustram a progressão do desgaste para as diferentes condições aplicadas, para as ferramentas dos tipos A e B, respectivamente.



**Figura 5.** Acompanhamento do desgaste de ferramentas do tipo A testadas nas diferentes condições.



**Figura 6.** Acompanhamento do desgaste de ferramentas do tipo B testadas nas diferentes condições.

Observando as Figuras 5 e 6, nota-se claramente a maior região de contato do gume para as condições de  $a_p > a_e$  e  $a_p = a_e$ , o que faz com que o desgaste aumente progressivamente com menor intensidade, enquanto que na condição de  $a_p < a_e$ , a região de contato dos gumes é menor, o que gera uma grande concentração e desgaste mais rápido da ferramenta.

Comparando-se os dois tipos de ferramentas, a evolução do desgaste apresentou semelhanças, com um desgaste mais pronunciado sobre a região da quina das ferramentas para a condição  $a_p < a_e$ . Para as outras condições ensaiadas, a menor profundidade radial empregada gerou menor concentração de desgaste sobre a quina e, conseqüentemente, maior distribuição do desgaste sobre o flanco principal da ferramenta, aumentando a vida da mesma.

É observada na geometria das ferramentas que o gume da ferramenta A é caracterizado por uma geometria mais robusta, sem a presença de chanfros, enquanto a ferramenta B apresenta um chanfro no gume principal, o que tende a fragilizar o mesmo e provocar um desgaste mais acentuado.

Foram observados desgastes por abrasão, gerando o desgaste de flanco, além do mecanismo de adesão de material sobre o gume das ferramentas.

#### 4 DISCUSSÃO

A análise dos resultados de vida apresentados na Figura 3 aponta uma menor vida das ferramentas testadas na condição  $a_p < a_e$ . Com aumento do  $a_p$  o desgaste da ferramenta é distribuído sobre uma maior área do gume, diminuindo a sollicitação sobre a quina da ferramenta, possibilitando o aumento da vida da fresa.

Os gráficos de comportamento de desgaste das ferramentas apresentados na Figura 4 apontam diferenças entre as ferramentas do tipo A e do tipo B. As ferramentas do tipo A apresentam um aumento do desgaste aproximadamente linear, com valores de desgaste de flanco máximo similares para as três condições, quando considerado um mesmo tempo de usinagem. Já as ferramentas do tipo B apresentam comportamentos diferentes para as condições testadas. A condição  $a_p < a_e$  apresentou um desgaste inicial mais acentuado, enquanto que um menor desgaste inicial foi observado na condição  $a_p = a_e$ . A primeira condição atingiu um desgaste de flanco máximo de 0,45 após aproximadamente 13 min de usinagem, enquanto que foram necessários em torno de 38 min para que o mesmo desgaste fosse atingido na condição  $a_p = a_e$ . Essa diferença no comportamento dos diferentes tipos de ferramentas pode estar relacionada às diferenças na geometria das mesmas, sendo o gume da ferramenta do tipo B de menor robustez e, portanto, mais sensível à variação dos parâmetros  $a_p$  e  $a_e$ .

A semelhante evolução do desgaste observado para as condições de  $a_p$  maior ou igual ao  $a_e$ , observado nas Figuras 5 e 6, apresentando maiores tempos de usinagem, deve-se à maior região de contato no sentido axial da ferramenta, apresentando um aumento gradual do desgaste.

Em contraponto, o maior desgaste apresentado pela condição de maior profundidade radial deve-se ao maior contato no sentido radial da ferramenta, causando uma possível instabilidade nas zonas de corte, o que culminou no aumento dos esforços necessários para a remoção do cavaco<sup>(3,4,8)</sup>. Desse modo, devido ao fato de que os desgastes medidos foram realizados no gume principal da ferramenta, no sentido radial, é evidenciada uma menor vida para as ferramentas em que foi utilizado o maior valor de  $a_e$ .

Para as condições de  $a_p = a_e$  e  $a_p > a_e$  não observa-se uma diferença significativa nos desgastes apresentados pelas ferramentas, devido à semelhança nos parâmetros utilizados.

Comparando-se os dois tipos de ferramenta utilizados, observa-se que houve um maior desgaste da ferramenta do tipo B, principalmente para a condição de  $a_p < a_e$ . Isso se deve ao chanfro existente no gume principal da ferramenta e à menor massa da quina da fresa, o que resulta em uma menor resistência do gume ao desgaste, em relação à ferramenta do tipo A.

Considerando os mecanismos apresentados, pode-se constatar, pelas Figuras 5 e 6, um predomínio de material aderido sobre o gume principal das ferramentas. De acordo com Gu et al.<sup>(10)</sup> a geração de calor no momento do corte faz com que a resistência ao cisalhamento do material usinado diminua, facilitando sua remoção e, conseqüentemente, facilitando a adesão de material sobre o gume da ferramenta, gerando o mecanismo de adesão. Outro mecanismo verificado foi o desgaste abrasivo, que se deve ao atrito gerado entre o material da peça e o gume da

ferramenta, acarretando no arrancamento de finas partículas do material da ferramenta, levando à deterioração da geometria do gume.

## 5 CONCLUSÃO

A utilização das condições de  $a_p > a_e$  ou  $a_p = a_e$  propiciaram um aumento da vida das ferramentas de corte, tendo em vista que nessas condições há uma melhor utilização da área do gume principal, diminuindo a solitação sobre a quina da ferramenta.

A ferramenta que obteve os melhores resultados foi a do tipo A, por apresentar maior robustez da cunha de corte. Já para a ferramenta do tipo B, o chanfro na cunha reduz a resistência ao desgaste da mesma.

O mecanismo de desgaste predominantemente encontrado foi a adesão de material da peça sobre o gume das ferramentas. Também foi observado o mecanismo de abrasão no gume principal.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, à Universidade de Caxias do Sul (UCS), pela colaboração dada ao projeto *Dry Drilling* do Grupo de Usinagem (GUS), e às empresas colaboradoras do projeto.

## REFERÊNCIAS

- 1 LIEW, W.Y.H.; DING, X. Wear progression of carbide tool in low-speed end milling of stainless steel. *Wear*, v. 265, p. 155-166, 2008.
- 2 SOUTO, U.B. Monitoramento do desgaste de ferramenta no processo de fresamento via emissão acústica. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.
- 3 ABOU-EL-HOSSEIN, K.A.; KADIRGAMA, K.; HAMDY, M.; BENYOUNIS, K.Y. Prediction of cutting force in end-milling operation of modified AISI P20 tool steel. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 182, p. 241-247, 2007.
- 4 AHMADI, K.; ISMAIL, F. Machining chatter in flank milling. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, v. 50, p. 75-85, 2010.
- 5 HABEEB, H.H.; ABOU-EL-HOSSEIN, K.A.; MOHAMMAD, B.; KADIRGAMA, K. Effect of tool holder geometry and cutting condition when milling nickel-based alloy 242. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 201, p. 483-485, 2008.
- 6 ASIF, I.; NING, H.; NAEEM, U.D.; LIANG, L. Comparison of fuzzy expert system based strategies of offline and online estimation of flank wear in hard milling process. *Expert Systems with Applications*, v. 33, p. 61-66, 2007.
- 7 KRAIN, H.R.; SHARMAN, A.R.C.; RIDGWAY, K. Optimization of tool life and productivity when end milling Inconel 718TM. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 189, p. 153-161, 2007.
- 8 ALAUDDIN, M.; EL-BARADIE, M.A.; HASHMI, M.S.J. Tool life testing in end milling of Inconel 718. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 55, p. 321-330, 1995.
- 9 KIOUS, M.; OUAHABI, A.; BOUDRAA, M.; SERRA, R.; CHEKNANE, A. Detection process approach of tool wear in high speed milling. *Measurement*, v. 43, pp. 1439-1446, 2010.
- 10 GU, J.; BARBER, G.; TUNG, S.; GU, R. Tool life and wear mechanism of uncoated and coated milling inserts. *Wear*, v. 225-229, p. 273-284, 2000.