

DESGASTE DE FERRAMENTAS DE METAL DURO NO FRESAMENTO FRONTAL DO AÇO ABNT 1045 COM UTILIZAÇÃO DE FLUIDO DE CORTE EM DIVERSAS VAZÕES

Eder Silva Costa, eder@div.cefetmg.br¹
Leandro Lacerda Gomes Reis, lacerdareis@yahoo.com²
Guilherme Boaventura Rabelo, guilhermefemec@yahoo.com.br²
Álison Rocha Machado, alisonm@mecanica.ufu.br²

¹Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais/CEFET-MG, Campus V, em exercício na Universidade Federal de Uberlândia.

²Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Av. João Naves de Ávila, 2.121, Uberlândia-MG, 38.408-100, Brasil.

Resumo: Este trabalho avaliou a influência do sistema-lubri-refrigerante no desgaste de pastilhas de metal duro revestidas da classe P40 no fresamento frontal de faceamento. O material usinado, aço ABNT 1045, apresentava seção transversal quadrada inicial de lado 148 mm por 580 mm de comprimento. Utilizou-se uma fresa de diâmetro de 63 mm, ângulo de posição 45° com 5 pastilhas. Os testes de usinagem foram conduzidos sob as velocidades de corte de 300, 400 e 500 m/min e 4 diferentes sistemas lubri-refrigerantes: usinagem a seco, fluidos de corte aplicado em baixas vazões (pulverização de óleo vegetal em mínima quantidade – MQF com vazão de 30 ml/h e aplicação de fluido de corte semi-sintético sobre-cabeça com vazão reduzida para 80 ml/min) e aplicação convencional de fluido semi-sintético (jorro sobre-cabeça). Durante os ensaios a penetração de trabalho, a profundidade de corte e o avanço por dente foram mantidos constantes em 49,33 mm, 1,5 mm e 0,21 mm/dente, respectivamente. Todos os testes foram encerrados após o 6° passe das ferramentas, sendo a medição e análise dos respectivos desgastes das mesmas realizadas por um sistema de aquisição e análise de imagem. Os resultados revelaram que a situação mais crítica em termos de desgaste, para as 3 velocidades de corte investigadas, foi a usinagem a seco, seguido da usinagem com aplicação de MQF. A usinagem com aplicação de fluido de corte na forma reduzida e na forma convencional promoveram desgastes nas ferramentas menores e similares entre si. Para uma análise geral dos resultados, o corte do material com vazão reduzida de 80 ml/min foi o sistema lubri-refrigerante que mais preservou as pastilhas de metal duro.

Palavras-chave: fresamento frontal, baixa vazão de fluido de corte, pastilha de metal duro revestida.

1. INTRODUÇÃO

Num processo de usinagem uma ferramenta de corte é substituída basicamente quando ocorre uma avaria (trinca, lascamento ou quebra) ou o desgaste/deformação atingem valores críticos para o bom andamento do processo (Machado e Da Silva, 2004). Problemas de desgaste e avarias em ferramentas de corte no processo de usinagem dos metais sempre foram motivos de preocupação, mesmo considerando que o custo com ferramentas de corte representa apenas uma pequena fatia do total investido para a produção de uma peça (cerca de 3%). Tais problemas resultam em um maior número de paradas e, conseqüentemente, um maior tempo gasto para a produção de uma peça, resultando em acréscimo em seu custo final além de perda de produtividade.

Em geral, os desgastes se apresentam como falhas contínuas, isto é, possuem comportamento determinístico (podem ser modeladas matematicamente) ao longo de sua progressão até a deterioração completa da ferramenta. Isto permite um controle maior da vida. Por outro lado, as avarias (ou fraturas) são falhas transitórias que ocorrem aleatoriamente (não podem ser descritas por uma função matemática explícita), levam a ferramenta ao colapso (quebra total) e freqüentemente são detectadas somente após o ocorrido (Weingaertner e Souza, 2002). No lascamento da aresta principal de corte a superfície usinada pode ficar bastante danificada (Uehara e Takeshita, 1989) e se quebrar pode acarretar danos irreversíveis à peça (Colgan *et al.*, 1994 e Jemielniak, 1992). É regra que quando a ferramenta de corte possui tenacidade e resistência ao choque térmico suficientes para evitar as avarias, as ferramentas irão ser condenadas pelo desenvolvimento do desgaste excessivo.

Dentre os processos de usinagem aplicados na indústria metal-mecânica, destaca-se o fresamento, por apresentar grande versatilidade, possibilitar a produção de peças de formas complexas e possuir elevada capacidade de remoção de

cavacos. Apesar de possuir tais vantagens este processo de usinagem se caracteriza por ser um processo de corte interrompido onde a ferramenta de corte passa por períodos ativos, removendo material da peça na forma de cavacos, e períodos inativos, onde não existe o contato ferramenta-peça. Assim sendo o material da ferramenta de corte sofre flutuações de carga térmicas e mecânicas, podendo levar ao aparecimento de avarias e desgastes na mesma.

No fresamento as ferramentas são freqüentemente rejeitadas por avarias, uma vez que elas estão sujeitas a choques mecânicos, originados pela suas entradas (The, 1977) ou saídas da peça (Pekelharing, 1978; Pekelharing, 1984; Van Luttervelt e Willemse, 1984 e Ghandi e Barrow, 1985) e choques térmicos, causado pela flutuação da temperatura (Palmai, 1987, Ferraresi, 1977; Metals Handbook, 1989 e Melo, 2001).

Dentre as avarias, as trincas de origem térmica são particularmente importantes, principalmente em ferramentas de metal duro, onde se apresentam perpendiculares às suas arestas de corte e são consideradas extremamente prejudiciais à vida destas. Isto se deve ao fato de que a presença destas trincas fragiliza mecanicamente a aresta de corte, suscetibilizando-a a outras avarias devido aos choques mecânicos característicos do processo. A fadiga provocada pela alternância de cargas mecânicas promove o aparecimento de trincas paralelas à aresta de corte, que se encontram com as trincas térmicas, podendo causar o destacamento de pequenas porções da aresta de corte da ferramenta, comprometendo a sua vida e o seu desempenho (Melo, 2001).

Pekelharing (1978 e 1984) concluiu que o lascamento excessivo de ferramentas de metal duro usadas no fresamento pode ser devido a problemas durante a saída da aresta de corte da peça. Quando a ferramenta se aproxima da saída da peça promove uma rotação no plano de cisalhamento primário, fazendo com que a ponta da ferramenta passa de um estado fortemente compressivo para um estado de tração, o que pode promover a quebra da ponta da ferramenta se esta não tiver tenacidade suficiente. Este processo resulta na ocorrência do fenômeno conhecido como “formação do pé” (*foot forming*), devido a semelhança do cavaco resultante com um pé humano. Um parâmetro importante nesta última avaria é o ângulo de saída da ferramenta da peça. No fresamento a espessura de corte é máxima no centro da fresa, na direção de avanço. A espessura de corte aumenta da entrada na peça até o centro, atingindo, então o valor máximo, e reduz à medida que se afasta do centro no movimento de saída da peça. Quando o ângulo de saída da peça é zero, tem-se o maior valor de espessura de corte nesta saída. Isto torna crítico o processo de formação do pé. À medida que o ângulo de saída da peça se afasta do zero (para negativo ou positivo), o processo de carregamento na saída da ferramenta da peça vai aliviando, podendo até evitar a formação do fenômeno.

Embora com significativa importância dentro da produção no setor metal-mecânico (redução do desgaste das ferramentas, melhoria no acabamento superficial, expulsão do cavaco da região de corte, controle dimensional, etc.) os fluidos de corte vem encontrando, durante os últimos anos, sérias restrições com relação ao seu uso nos processos de usinagem. Os fatores importantes que justificam este procedimento incluem os altos custos operacionais, as questões ecológicas, as exigências legais relacionadas à preservação do meio ambiente e a saúde do ser humano (Heisel, 1998; Costa, 2006; Luke, 1992; Bennett, 1995; Teixeira, 2001). Neste sentido, a usinagem a seco e com aplicação de fluidos em vazões reduzidas vem ganhando cada vez mais espaço, principalmente em função do desenvolvimento dos materiais, revestimentos e geometrias das ferramentas de corte (Miranda et al, 2001; Kubel, 1998; Teeter, 1999).

Este trabalho tem como foco a investigação da influência do sistema lubri-refrigerante, aplicado em baixas vazões, no desgastes de pastilhas de metal duro revestidas. Os testes foram realizados utilizando a operação de fresamento sob 3 velocidades de corte (300, 400 e 500 m/min) e 4 diferentes sistemas lubri-refrigerantes: usinagem a seco, fluidos de corte aplicado em baixas vazões (pulverização de óleo vegetal em mínima quantidade – MQF com vazão de 30 ml/h e aplicação de fluido de corte semi-sintético sobre-cabeça com vazão reduzida para 80 ml/min) e aplicação convencional de fluido semi-sintético (jorro sobre-cabeça).

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os testes de usinagem foram realizados utilizando a operação de fresamento frontal de faceamento. Utilizou-se insertos revestidos de metal duro da classe P40 montados em uma fresa com ângulo de posição de 45° , diâmetro de 63 mm e capacidade para alojar 5 ferramentas. As especificações da pastilha e da fresa, fabricadas pela Sandvick Coromant®, são GC 4240 R245-12 T3 M-PM e R245-063Q22-12M, respectivamente. A Fig. (1) mostra aspectos geométricos e dimensionais das pastilhas usadas nos ensaios. Observa-se na figura que a pastilha apresenta uma parte plana (chanfro) paralela a superfície usinada que é responsável pelo acabamento superficial do material usinado.

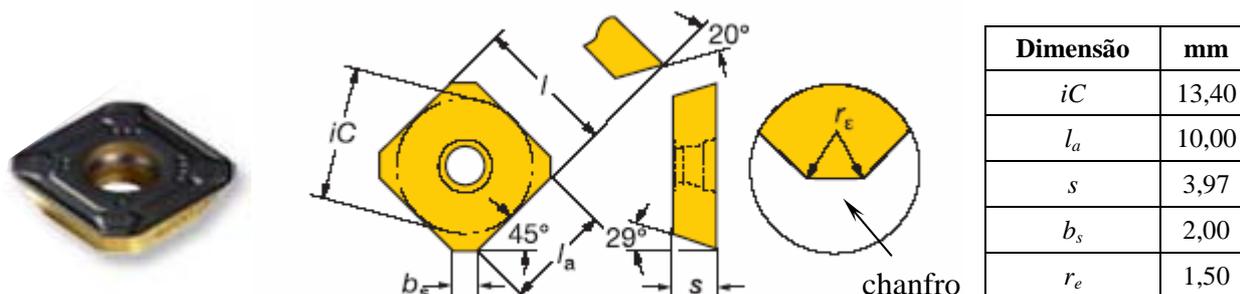


Figura 1. Pastilha de metal duro usada nos testes fresamento.

O material usinado, aço ABNT 1045, foi previamente faceado e apresentava comprimento de 573 mm e seção quadrada inicial de 148 mm. Este material foi fixado mecanicamente por meio de castanhas e estas aparafusadas à mesa do Centro de Usinagem CNC (linha Discovery modelo 760 com potência do motor principal de 9 KW e rotação máxima de 10.000 rpm, fabricado pelas Indústrias Romi S.A.). A Fig. (2) mostra uma vista do material usinado fixado e do conjunto fresa mandril preso ao eixo-árvore da máquina-ferramenta.



Figura 2. Vista do material usinado fixado à mesa da máquina-ferramenta e do conjunto fresa/mandril.

Durante os ensaios a penetração de trabalho, a profundidade de corte e o avanço por dente foram mantidos constantes em 49,33 mm, 1,5 mm e 0,21 mm/dente, respectivamente. O ângulo de saída da fresa da peça, resultante da penetração de trabalho adotada, foi de 33°, portanto, presumidamente fora da faixa que reduz a vida das ferramentas, que é de -45° a +20° (Sandvik, sem data). Como a largura do material usinado era de 148 mm, a cada 3 passes um plano de material era retirado ($3 \times 49,33 = 148$ mm). Todos os testes foram encerrados após o 6° passe das ferramentas e não houve repetições. Os parâmetros variados nos testes e seus respectivos valores podem ser consultados na Tab. (1).

Tabela 1. Parâmetros variados nos testes de fresamento.

VARIÁVEL		VALOR
Velocidade de Corte		300/400/500 [m/min]
SECO		-
Sistema Lubri-Refrigerante	MQF (óleo vegetal)	30 [ml/h]
	VAZÃO REDUZIDA* (óleo semi-sintético)	80 [ml/min]
	JORRO (óleo semi-sintético)	1230 [l/h]

* VAZÃO REDUZIDA = V.R

De acordo com a Tab. (1) foram variados a velocidade de corte e o sistema lubri-refrigerante. Utilizou-se as velocidades de 300, 400 e 500 m/min e 4 diferentes sistemas lubri-refrigerantes: usinagem a seco, fluidos de corte aplicado em baixas vazões (pulverização de óleo vegetal em mínima quantidade – MQF com vazão de 30 ml/h e aplicação de fluido de corte semi-sintético sobre-cabeça com vazão reduzida para 80 ml/min) e aplicação convencional de fluido semi-sintético (jorro sobre-cabeça). A Tab. (2) traz a planilha dos testes experimentais

Tabela 2. Planilha dos testes experimentais.

Teste N°	Vel. de Corte [m/min]	Sistema Lubri-Refrigerante
01	300	SECO
02	300	MQF
03	300	V.R
04	300	JORRO
05	400	SECO
06	400	MQF
07	400	V.R
08	400	JORRO
09	500	SECO
10	500	MQF
11	500	V.R
12	500	JORRO

As respostas que foram extraídas dos testes de fresamento foram os desgastes máximos no flanco e no chanfro que as ferramentas apresentaram após o último passe. A medição e análise dos respectivos desgastes nas pastilhas foram realizadas por meio de um software de aquisição e análise de imagem. As Figs. (3-a) e (3-b) mostram o sistema de aquisição e análise de imagem e o conjunto fresa/mandril posicionado para uma análise e medição do desgaste no flanco e no chanfro de uma aresta, respectivamente.



Figura 3. Posicionamento do conjunto fresa/mandril para análise e medição do desgaste. a) Desgaste de flanco; b) Desgaste no chanfro.

Os fluidos de corte utilizados foram fabricados pela Blaser Swisslube do Brasil Ltda e aplicados externamente ao conjunto ferramenta-peça por meio de bicos. Para aplicação de fluido em mínima quantidade (MQF) utilizou-se um óleo integral (especificação Vascomill MMS SE 1[®]). Trata-se de um fluido a base de ésteres naturais, vegetais, com segurança reforçada em função do alto ponto de fulgor e da baixa formação de névoa, na vazão de 30 ml/h. O aparelho pulverizador do fluido, Modelo O2AO-STD fabricado pela ITW Fluid Products Group, trabalhava com um fluxo contínuo de ar comprimido, ajustado em torno de 4,3 bar, e “spray” intermitente de fluido na frequência de 1 pulso por segundo. O fluido de corte é conduzido através de uma mangueira de menor diâmetro que chega ao bico, dentro de uma outra maior que conduz o ar comprimido. A mistura ar comprimido-fluido era injetada sobre a ferramenta-peça por meio de 2 bicos dispostos a 90° um do outro, Fig. (4-a).

O fluido de corte aplicado na forma de vazão reduzida e em jorro sobre-cabeça foi uma micro emulsão de óleo de base vegetal (especificação Vasco 1000[®]) e foi usado na concentração de 9%. Para aplicação deste fluido utilizou-se o próprio sistema de bombeamento do centro de usinagem CNC. Quando o fluido de corte foi aplicado em jorro a vazão total de 1230 l/h era distribuída por meio de três bicos, Fig. (4-b). Quando o fluido foi aplicado na forma de vazão reduzida utilizou-se uma válvula que restringia a vazão para 80 ml/minuto, sendo o filete direcionado a aresta de corte por meio de apenas 1 bico, Fig. (4-c).

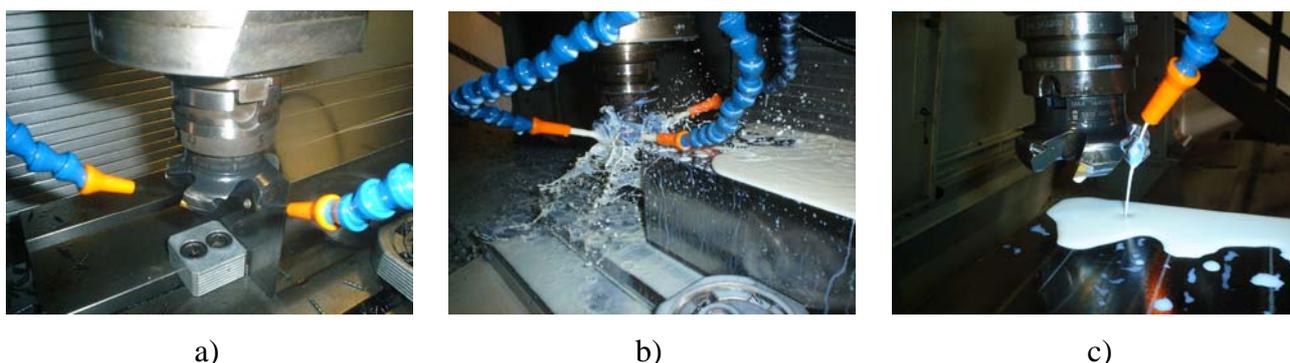


Figura 4. Posicionamento dos bicos aplicadores dos fluidos de corte. a) Mínima quantidade de fluido de corte, vazão total de 30 ml/h; b) Jorro, vazão total de 1230 l/hora; c) Vazão reduzida, vazão de 80 ml/min.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o objetivo de sintetizar os resultados e assim facilitar a discussão, serão apresentados a seguir os resultados de desgastes das 2 ferramentas que mais se desgastaram entre as 5 que foram utilizadas para cada teste. Foi verificado, através das análises das imagens dos desgastes, que em todos os ensaios realizados sob as velocidades de corte de 300 e 400 m/min, o desgaste no flanco se mostrou pouco evidente, com dimensão relativamente pequena e próxima para todos os sistemas lubri-refrigerantes testados, por esse motivo não serão aqui apresentados. Entretanto, o desgaste

desenvolvido no chanfro das ferramentas se apresentou sempre acentuado, com dimensão relevante e variando em função do sistema lubri-refrigerante empregado, para as 3 velocidades de corte investigadas. As Figs. (5), (6) e (7) mostram o desgaste de chanfro para os testes realizados com as velocidades de corte de 300, 400 e 500 m/min, respectivamente, em função do sistema lubri-refrigerante. Nestas figuras os valores indicados pelas setas são valores medidos dos desgastes de chanfro máximo. Na Fig. (5-c) não foi medido o desgaste de chanfro máximo para a ferramenta 3 devido a sua pequena amplitude, porém, por comparação o valor deste desgaste pode ser estimado em torno de 50 μm .

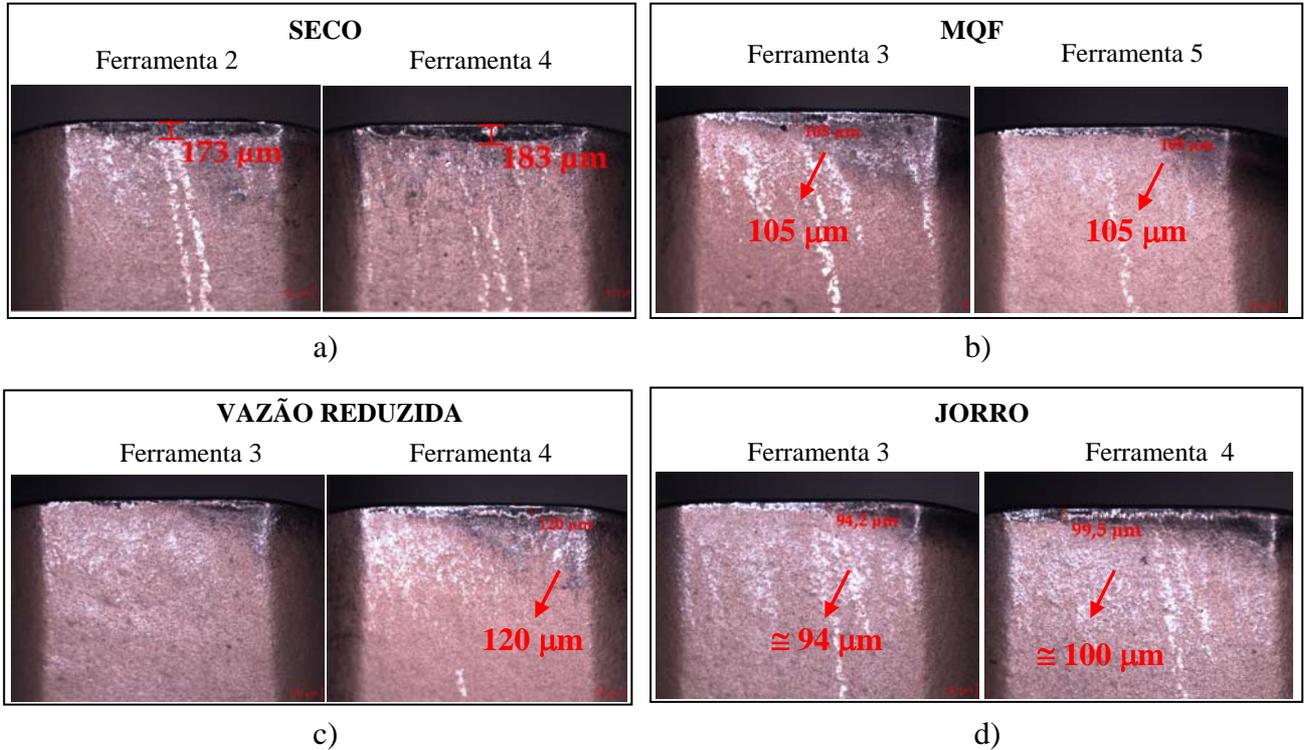


Figura 5. Desgaste desenvolvido no chanfro das ferramentas para a velocidade de corte de 300 m/min.

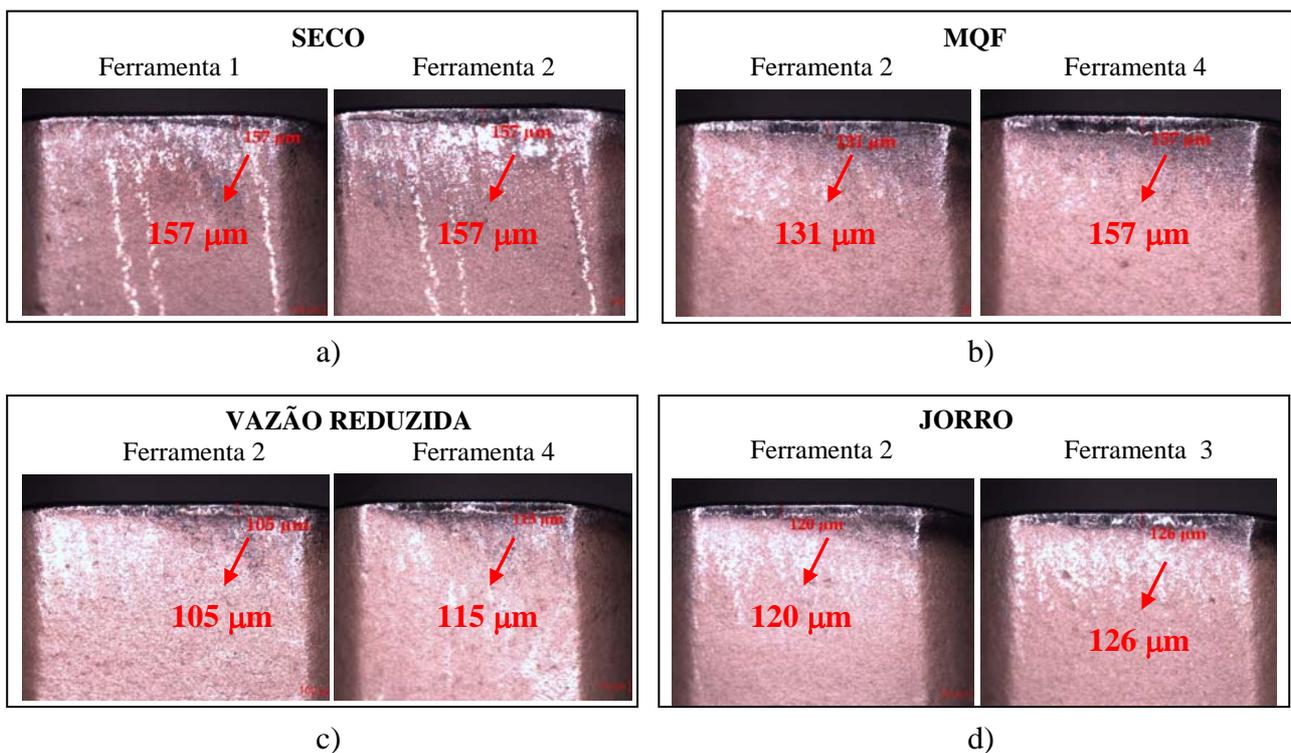


Figura 6. Desgaste desenvolvido no chanfro das ferramentas para a velocidade de corte de 400 m/min.

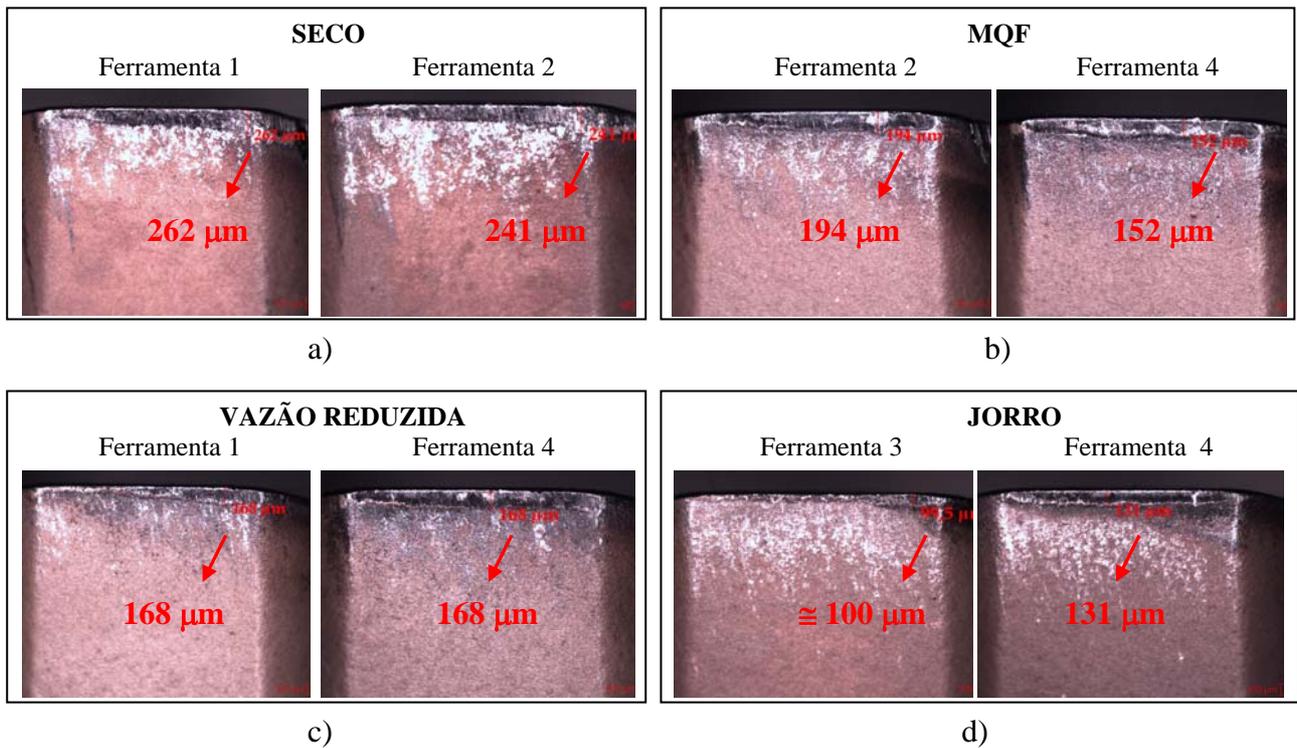


Figura 7. Desgaste desenvolvido no chanfro das ferramentas para a velocidade de corte de 500 m/min.

Observa-se nas Figs. (5), (6) e (7) que os desgastes na superfície de folga, na região do chanfro, são bastante regulares ao longo de toda a extensão do chanfro, não desenvolvendo, em situação alguma, um desgaste localizado maior.

A Fig. (8) mostra o desgaste desenvolvido no flanco das ferramentas que usinaram com a maior velocidade de corte investigada (500 m/min).

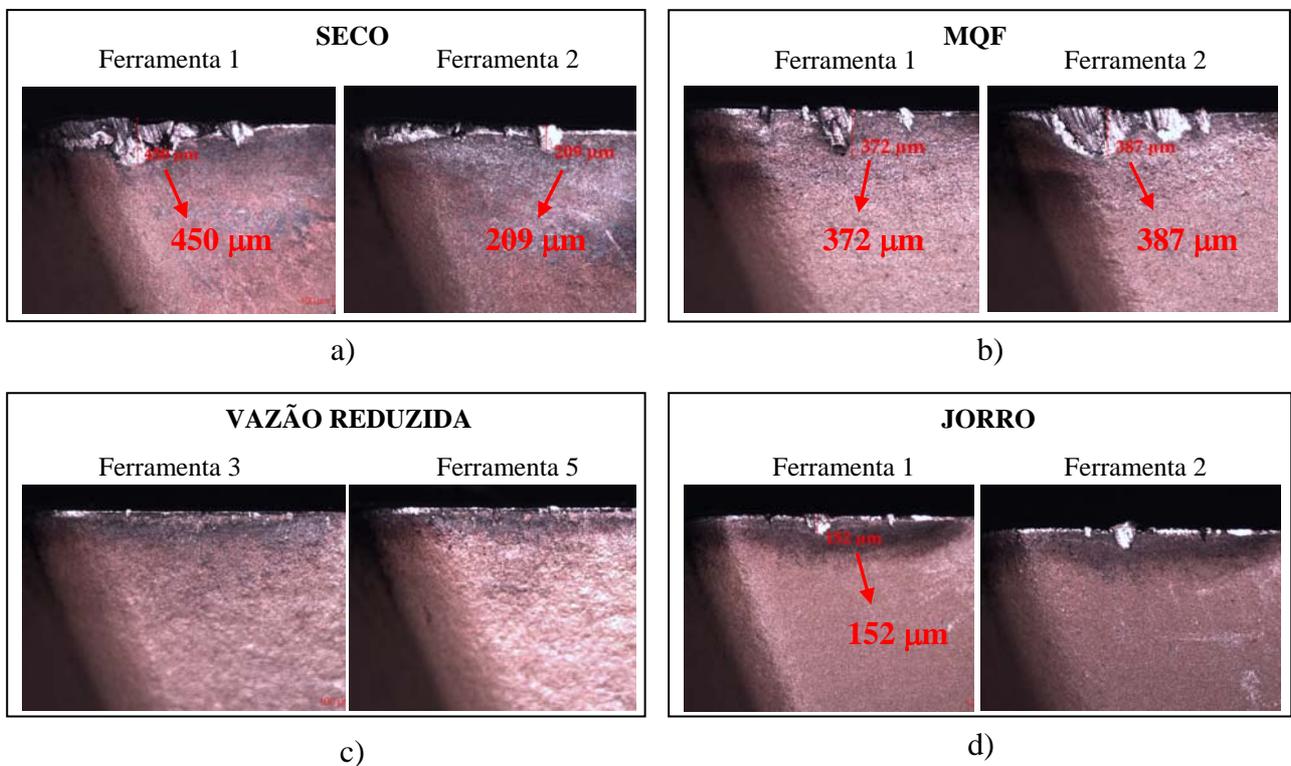


Figura 8. Desgaste desenvolvido no flanco das ferramentas para a velocidade de corte de 500 m/min.

Ao contrário do que ocorreu para as duas velocidades inferiores (300 e 400 m/min), para a usinagem com 500 m/min o desgaste de flanco se mostrou, em geral, mais protuberante que o desgaste de chanfro. Na Fig. (8-c) o desgaste não foi medido devido a sua baixa amplitude, entretanto, através de uma análise comparativa, ele pode ser estimado em torno de 55 μm na região próxima do raio de ponta da ferramenta. Na Fig. (8-d), usinagem com jorro com a ferramenta 2, o desgaste não foi medido por problemas técnicos, mas percebe-se que o seu valor é próximo do valor do desgaste medido na ferramenta 1, assim estima-se para este desgaste um valor em torno de 160 μm .

Na Fig. 8 nota-se que no flanco das ferramentas, dentro da largura de corte utilizada, há a evolução de um desgaste máximo, que não necessariamente está situado na borda do chanfro. O tamanho deste desgaste máximo depende do sistema lubri-refrigerante utilizado, sendo que na vazão reduzida, ao final da 6^o passada, este desgaste máximo ainda não se mostrou. Nestas regiões de desgastes de flanco máximos há fortes evidências da presença do mecanismo abrasivo.

Para comparação dos valores de desgastes em função da velocidade de corte e dos sistemas lubri-refrigerantes será adotado a média dos desgastes produzido nas duas ferramentas que mais se desgastaram e que estão mostradas nas Figs. (5) a (8). Neste cálculo serão usados os valores estimados para o desgaste nas situações em que não houve medições. A Tab. (3) traz o desgaste médio de chanfro em função do sistema lubri-refrigerante e da velocidade de corte. A Tab. (4) mostra o desgaste médio de flanco em função dos sistemas lubri-refrigerantes para a velocidade de corte de 500 m/min e as Figs. (9) e (10) ilustram graficamente os resultados apresentados nestas tabelas.

Tabela 3. Desgaste médio de chanfro em função do sistema lubri-refrigerante e da velocidade de corte. As duas ferramentas analisadas para cada teste estão representadas por Fer. A e Fer. B.

V_c [m/min]	SECO			MQF			VAZÃO REDUZIDA			JORRO		
	Desgaste [μm]			Desgaste [μm]			Desgaste [μm]			Desgaste [μm]		
	Fer. A	Fer. B	Média									
300	173	183	178	105	105	105	50*	120	85	94	100	97
400	157	157	157	131	157	144	105	115	115	120	126	123
500	262	241	252	194	152	173	168	168	168	100	131	116

* Valor estimado

Tabela 4. Desgaste médio de flanco em função do sistema lubri-refrigerante.

V_c [m/min]	SECO			MQF			VAZÃO REDUZIDA			JORRO		
	Desgaste [μm]			Desgaste [μm]			Desgaste [μm]			Desgaste [μm]		
	Fer. A	Fer. B	Média									
500	450	209	315	372	387	380	55*	55*	55	152	160*	156

* Valor estimado

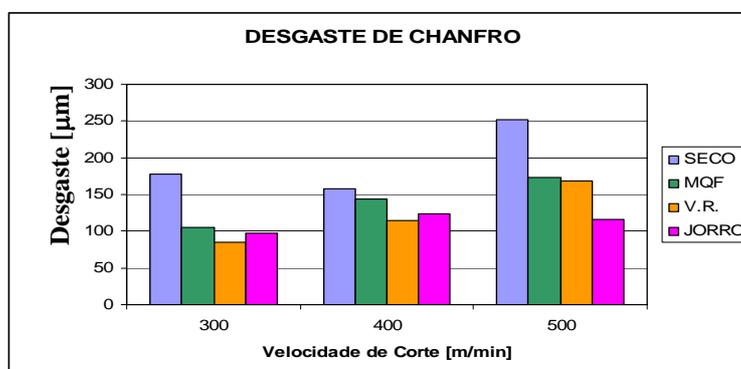


Figura 9. Desgaste médio de chanfro em função do sistema lubri-refrigerante e da velocidade de corte.

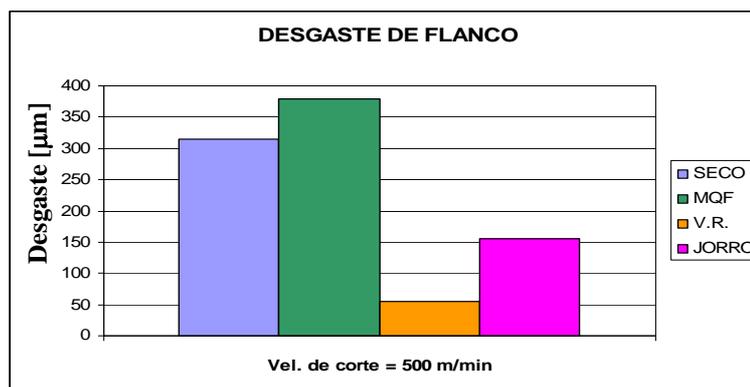


Figura 10. Desgaste médio de flanco em função do sistema lubri-refrigerante.

O estudo das Figs. (5) a (10) não deixa dúvida sobre a força da influência da velocidade de corte na geração de desgastes nas ferramentas de corte. A temperatura da interface cavaco-ferramenta aumenta com a velocidade de corte. Altas temperaturas não só aceleram os mecanismos de desgastes mas também reduzem o limite de escoamento das ferramentas (Machado e Da Silva, 2004). Outra constatação através destas figuras é que a usinagem a seco e com aplicação de MQF proporcionaram desgastes maiores que no corte com os sistemas lubri-refrigerantes vazão reduzida e jorro, sendo a condição a seco a mais crítica. Porém, na usinagem com 500 m/min e aplicação de MQF, as duas ferramentas que mais se desgastaram apresentaram desgastes de flanco relativamente altos e próximos (375 e 387 µm), Fig. (8-b), que na média foi superior ao desgastes proporcionados pela usinagem a seco em suas duas ferramentas (450 e 209 µm), Fig. (8-a) e Fig. (10).

Os sistemas lubri-refrigerantes vazão reduzida e jorro promoveram valores de desgastes nas ferramentas, de um modo geral, relativamente próximos um do outro e consideravelmente menores que os outros dois sistemas. Para uma análise genérica, pode-se dizer que a aplicação de fluido na forma de vazão reduzida produziu valores médios de desgastes menores que o sistema jorro. Somente nos ensaios com velocidade de corte de 500 m/min a aplicação de fluido na forma reduzida promoveu um desgaste de chanfro máximo maior que a condição de jorro, Figs. (7-c), (7-d) e (9). Em contrapartida, o desgaste de flanco máximo para os testes com 500 m/min foi substancialmente reduzido de 156 µm para cerca de 55 µm, quando se aplicou a fluido com vazão reduzida, em relação a usinagem com sistema jorro, Figs. (8-c), (8-d) e (10).

Os resultados obtidos dos testes de fresamento mostram, em geral, que a aplicação dos fluidos de corte em suas diferentes formas (MQF, vazão reduzida e jorro) conseguiu diminuir os desgastes de chanfro e flanco, principalmente a aplicação do fluido com volume reduzido para 80 ml/min. Isto confirma que os fluidos conseguiram agir no processo de corte desempenhando suas funções básicas que são a lubrificação e refrigeração. Teixeira Filho (2006) avaliou a influência da utilização de fluido de corte no fresamento de um aço inoxidável utilizando ferramenta de metal duro recoberta com TiAlN nas operações de desbaste e acabamento. Ele usinou sem fluido de corte, aplicando emulsão interna e externamente à ferramenta em diferentes concentrações, aplicando fluido de corte integral em mínima quantidade (35 ml/h) e também utilizando fluido de corte em baixa vazão (250 ml/min). Os resultados mostraram que a condição com baixa vazão resultou em uma maior vida de ferramenta dentre todas as condições de refrigeração/lubrificação testadas.

O uso de fluidos de corte no fresamento com ferramentas de metal duro pode ter um efeito negativo no desgaste das mesmas. O fato é que nesta situação de corte a aplicação do fluido pode ocasionar um aumento na variação da temperatura entre a fase ativa e a fase inativa do processo de fresamento e assim promover a formação de trincas de origem térmica. Melo (2001) fresando um aço ABNT 1045 com ferramentas de metal duro constatou a predominância de trincas de origem térmicas nas ferramentas, após intensa análise de desgaste em um microscópio eletrônico de varredura. O fato é que, se um fluido de corte consegue reduzir temperatura, sem causar trincas, ele será sempre recomendado para aumentar a vida da ferramenta. Este foi o caso da presente investigação, onde os desgastes no flanco e no chanfro não apresentaram evidências de trincas térmicas

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos dos testes experimentais nos permitem as seguintes conclusões:

- A usinagem a seco mostrou ser, em geral, a condição mais crítica, promovendo desgastes severos tanto no chanfro como no flanco das ferramentas de corte. Isto comprova que os fluidos de corte em suas diferentes formas de aplicação conseguiram atuar desempenhando suas funções, sem promoverem trincas térmicas;
- A usinagem com vazão reduzida e jorro proporcionaram, em geral, valores de desgastes próximos um do outro e menores que os demais sistemas;
- A aplicação do fluido de corte com vazão reduzida para 80 ml/min mostrou-ser, em geral, a condição lubri-refrigerante que mais preservou as ferramentas de corte. Portanto, a classificação dos sistemas lubri-refrigerantes

em ordem crescente de eficiência ficou assim: SECO < MQF < JORRO < VAZÃO REDUZIDA. Este resultado pode gerar economia e vantagens ecológicas interessantes nas linhas de produção do setor metal-mecânico.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMIG, à CAPES, ao IFM e ao CNPq pelo suporte financeiro, às empresas: Aços Villares S.A. e Blaser Swisslube do Brasil Ltda. pelo fornecimento do material da peça e dos fluidos de corte, respectivamente.

6. REFERÊNCIAS

- Bennett, E.O., 1995, "Systemic diseases in machinists", Biotech Publishing: Angleton, Texas, USA, 190 p.
- Colgan, J. et al., 1994, "On-Line Tool Breakage Detection in Turning: A Multi-Sensor Method", *Asme Journal of Engineering for Industry*, V.116, N.1, pp.117-123.
- Costa, E.S., 2004, "Furação de Aços Microligados com Aplicação de Mínima Quantidade de Fluido de Corte - (MQF)", Tese de doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, 199 p.
- Ferraresi, D., 1977, "Fundamentos da Usinagem dos Metais", Editora Edgard Blücher Ltda, vol. 1, SP, 751 p.
- Ghandi, A.K. and Barrow, G., 1985, *Annals of CIRP*, vol. 34, n 1, pp. 71-74.
- Heisel, U., Lutz, M., Spath, D., Wassmer, R. Walter, U., 1998, "A Técnica da Quantidade Mínima de Fluidos e sua Aplicação nos Processos de Corte", *Máquinas e Metais: Editora Aranda*, fev., pp. 22-38.
- Jemielniak, K. (1992). Detection Of Cutting-Edge Breakage In Turning. *Annals of The Cirp*, V.41, N.1, P.97-100.
- Kubel, E., 1998, "Coatings crank up tool performance", *Manufacturing Engineering*, jan., pp. 40-46.
- Luke, W.E., 1992, "Toxity of metalworking fluids: myths and reality - A chemist's perspectives", *Journal of the Society of Tribologists and Lubrification Engineers*, vol. 48, pp. 425-429.
- Machado, A.R. e Da Silva M.B., 2004, "Usinagem dos Metais", *Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem*, 8º versão, agosto, UFU, 257 p.
- Melo, A.C.A., 2001, "Estudo das Trincas de Origem Térmica Geradas em Ferramentas de Metal Duro Durante o Fresamento Frontal", Tese de doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, 173 p.
- Metals Handbook*, 1989, vol. 16 – Machining, 9ª ed., ASM International.
- Miranda, G.W.A. et al, 2001, "Quando as brocas de metal duro revestidas dispensam os fluidos de corte", *O Mundo da Usinagem*, ISSN 1518-6091, RG.BN 217.147, março, pp. 20-25.
- Palmai, Z., 1987, "Cutting Temperature in Intermittent Cutting", *International Journal of Machine Tools Manufacture*, vol. 27(2), pp 261-274.
- Pekalhari, A.J., 1984, "The Exit Failure of Cemented Carbide Face Milling Cutters Part I - Fundamental and Phenomena", *Annals of CIRP*, vol. 33, 1, pp. 47-50.
- Pekalhari, A.J., 1978, "The Exit Failure in Interrupted Cutting", *Annals of CIRP*, vol 27, n 1, pp. 5-10.
- Sandivk Coromant., sem data, "Manual de Fresamento".
- Teeter, F.J., 1999, "Coating takes place of coolant", *American Machinist*, pp. 50-52, 1999.
- Teixeira Filho, F., 2006, "A utilização do fluido de corte no fresamento do aço inoxidável 15-5PH", Tese de doutorado, Universidade Estadual de Campinas, 206 p.
- Teixeira, C.R., 2001, "Benefícios ecológicos da redução e eliminação de fluidos de corte nos processos de usinagem com ferramentas de geometria definida" Tese de doutorado, UFSC, Florianópolis-SC, 153 p.
- The, J.H.L., 1977, "High-Speed Films of the Incipient Cutting Process in Machining at Conventional Speeds", *J. for Engineering for Industry*, February, pp. 263-268.
- Uehara, K.; Takeshita, H. (1989). Prognostication of the Chipping of Cutting Tools. *Annals off The Cirp*, V.38, N.1, pp. .95-98.
- Van Luttervelt, C.A.; Willemse, H.G., 1984, "The Exite Failure of Cemented Carbide Face Milling Cutters Part II - Testing of Commercial Cutters", *Annals of CIRP*, vol. 33, n 1, pp. 51-54.
- Weingaertner, W.L.; Souza, A. J. (2002). Aplicação de Um Sistema de Monitoramento Inteligente no Diagnóstico de Falhas em Ferramentas de Corte: Uma Abordagem Teórica. *Ii Congresso Nacional de Engenharia Mecânica*. João Pessoa, Pb, 10p.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

WEAR OF CEMENTED CARBIDE TOOLS WHEN FACE MILLING AISI 1045 STEEL WITH CUTTING FLUIDS APPLIED UNDER SEVERAL FLOW RATES

Eder Silva Costa, eder@div.cefetmg.br¹

Leandro Lacerda Gomes Reis, lacerdareis@yahoo.com²

Guilherme Boaventura Rabelo, guilhermefemec@yahoo.com.br²

Álison Rocha Machado, alissonm@mecanica.ufu.br²

¹Federal Center of Technological Education of Minas Gerais - CEFET-MG. Divinópolis Division Unit - Campus V, 35502-036, Divinópolis-MG, Brazil.

²Faculty of Mechanical Engineering, Federal University of Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2.121, Uberlândia – MG, 38.400-089, Brazil.

Abstract. *The present work evaluates the influence of the lubri-cooling system on the wear of P40 coated carbide tools in face milling of ABNT 1045 steel. The work material had a cross section of 148mm² and length of 580 mm. The milling cutter had 63 mm of diameter, approach angle of 45° and 5 teeth. Cutting speed of 300, 400 and 500 m/min were used and 4 different lubri-cooling systems: dry cutting, cutting fluids applied under low flow (MQL – Minimum quantity of lubricant of vegetable oil at 30 ml/h and semi-synthetic fluid applied overhead at 80 ml/min) and conventional overhead flood cooling of semi-synthetic fluid. The radial and axial depth of cut and the feed per tooth were kept constant at 49,33 mm, 1,5 mm e 0,21 mm/tooth, respectively. All the tests were ended immediately after the sixth pass and the tool wear measured using an image acquisition and analyzer software. The results showed that the most critical situation in terms of tool wear for the three cutting speed investigated was the dry condition followed by the MQL system. Machining with cutting fluids applied under low flow and conventionally promoted smaller tool wear and similar among them. Generally, machining with the cutting fluid under 80 ml/min was the situation that better preserved the cutting tools.*

Keywords: *Face milling, Low flow of cutting fluids, coated cemented carbide tools, MQL*