

VIDA DE FERRAMENTA NO FRESAMENTO DE AÇOS PARA MATRIZES

José Luiz Silva Ribeiro

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Av. Dom José Gaspar, 500, Coração Eucarístico, Belo Horizonte, MG, ribeirojls@pucminas.br

Alexandre Mendes Abrão

Universidade Federal de Minas Gerais

Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte, MG, abrao@ufmg.br

Resumo. *O conceito de redução de custos, em todos os processos industriais, tem sido continuamente desenvolvido com o objetivo de tornar as empresas cada vez mais competitivas. Na cadeia produtiva de fabricação de matrizes para forjamento, esta preocupação não é diferente, uma vez que, para atender à crescente demanda por novos produtos, estes têm que ser desenvolvidos com agilidade, para se lançar rapidamente o produto para venda ao mercado consumidor. Estas matrizes necessitam de grande tempo de usinagem e polimento, o que consome de 60 a 80% dos custos finais. Este trabalho tem como objetivo o estudo da influência de parâmetros de corte no desgaste da aresta de corte (VBI) de ferramentas de metal duro revestido e ferramentas de cermet, durante o fresamento a seco do aço VHSUPER (Villares Metals S/A). Com propriedades similares ao aço ABNT H13 e ao aço DIN 1.2367, este material é utilizado para fabricação de matrizes e moldes, entre outras aplicações. Foram realizados testes de fresamento frontal discordante, com avaliação da influência do material da ferramenta, velocidade de corte (v_c) e avanço por aresta (f_z). Foram levantadas as curvas de vida para avaliação dos parâmetros para estudo da otimização do desempenho e conseqüente redução dos tempos de fresamento. Os resultados indicaram que, dentro da faixa de parâmetros utilizada, a vida das ferramentas caiu com a elevação da velocidade de corte, porém aumentou com o avanço. Com relação ao material da ferramenta, os melhores resultados foram obtidos com a ferramenta de metal duro com revestimento multicamada MT-CVD contendo $TiN + TiCN + Al_2O_3$.*

Palavras-chave: *fresamento, vida de ferramenta, desgaste, aço ferramenta.*

1. INTRODUÇÃO

Para atender a presteza necessária ao rápido lançamento de novos produtos no mercado, as empresas lançam mão de ferramentas de software e hardware cada vez mais poderosas, como CAD/CAM, máquinas com Controle Numérico Computadorizado (CNC), utilização de ferramental moderno, ferramentas com revestimentos tribológicos e metodologias de usinagem específicas para cada objetivo. As matrizes necessitam de grande tempo de usinagem e polimento, o que se estima entre 60 a 80% dos custos finais. Como os custos de fabricação de moldes e matrizes é muito grande, e a usinagem e o polimento representam as etapas mais importantes do processo, torna-se ainda maior a importância de se estudar a usinabilidade dos materiais, para aumento da produtividade.

A integração entre as indústrias, os fornecedores de ferramentas e de matéria prima e os centros de pesquisa e universidades, têm permitido produtiva interação para alcançar os objetivos descritos.

Estes fornecedores têm encontrado problemas de qualidade do componente usinado, em parte oriundos de vibrações, quando da usinagem por meio de fresamento de topo. Tal fato ocorre devido à formação de ondulações nas superfícies obtidas, que exigem um trabalho suplementar de acabamento superficial, aumentando os custos de produção.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é o de identificar os principais parâmetros que afetam a vida de ferramentas utilizadas no fresamento de aços para matrizes e moldes.

No desenvolvimento do trabalho, foi estudada a usinabilidade do aço-ferramenta VHSUPER durante a operação de fresamento com ferramentas intercambiáveis de metal duro, para encontrar as correlações entre os parâmetros de usinagem e a vida das ferramentas dentro de valores aceitáveis para desgaste, sem prejuízo da qualidade da superfície das peças produzidas.

Pretende-se avaliar a influência dos diversos parâmetros que podem afetar a qualidade das superfícies fresadas na usinagem de aços ferramentas para produção de matrizes, destacando-se os seguintes pontos: a seleção do material de ferramenta mais adequado ao processo de usinagem; os testes com as ferramentas e parâmetros de corte escolhidos; a avaliação do desgaste e vida das ferramentas utilizadas em comparação com os demais parâmetros estudados.

3. REVISÃO TEÓRICA

No campo da engenharia mecânica e metalúrgica, dá-se comumente o nome de aços para trabalho a quente àqueles que são destinados ao trabalho, em situações normais, a temperaturas superiores a 200° C.

Os aços para trabalho a quente devem apresentar determinadas características, quando em condições operacionais de: elevada dureza, elevada resistência ao desgaste, elevada resistência mecânica, elevada tenacidade, elevada resistência à fadiga e elevada resistência à formação de trincas oriundas de variações térmicas bruscas.

Dentre os aços para trabalho a quente, destaca-se o aço ABNT H13, que é um aço ferramenta utilizado na fabricação de matrizes para forjamento a quente em prensas. Quanto às suas aplicações este aço é também utilizado na fabricação de moldes para a injeção de plásticos entre outras. Dentre seus elementos de liga contém cromo (Cr), vanádio (V) e molibdênio (Mo) e é endurecível por têmpera em óleo ou ar. No presente trabalho foi utilizado o aço para trabalho a quente denominado VHSUPER (Villares Metals S/A), com propriedades similares ao aço ABNT H13 e ao aço normalizado pela “Deutsches Institut für Normung” (DIN) com a denominação DIN 1.2367, tanto em relação às suas características quanto a suas aplicações, com modificações na composição química.

A usinagem desta categoria de materiais no estado recozido normalmente é realizada com ferramentas de metal duro ou cermet. O metal duro é uma liga composta fundamentalmente pelo carboneto de tungstênio (WC) e cobalto (Co). Trent e Wright⁽¹⁾ citam que este material contém também a adição de carbonetos cúbicos de tântalo (TaC), de nióbio (NbC) e de titânio (TiC). Entretanto, o carboneto de tungstênio é o principal constituinte e influencia diretamente a dureza do composto, sendo o cobalto o elemento aglomerante que influencia diretamente a tenacidade. Os carbonetos cúbicos são adicionados para melhorar propriedades como a dureza a quente, a resistência ao desgaste químico e a resistência à deformação.

As principais características de alguns dos revestimentos aplicados nas ferramentas, segundo Holmberg e Matthews⁽²⁾ e Diniz et al.⁽³⁾ são:

TiN – indicado em casos em que peças de diferentes materiais são usinadas pela mesma ferramenta, apresentando boa relação custo-benefício como principal aspecto positivo. Proporciona baixos coeficientes de atrito entre cavaco e a ferramenta quando utilizado na usinagem de materiais ferrosos, com geração de cavacos de menores comprimentos. Tal se deve ao fato de ser quimicamente estável e ter menor tendência a fenômenos de difusão com estes. Na usinagem de alumínio (Al), cobre (Cu) e suas ligas ocorre o inverso, devido à elevada afinidade química do titânio (Ti) com estes materiais, predominando a adesão e a difusão;

TiCN – apresenta bons resultados na usinagem de aços. Desempenho satisfatório em substratos HSS e carboneto de tungstênio/cobalto (WC/Co). Os revestimentos de TiCN possuem a

característica de não permitir a propagação de trincas em direção ao substrato, desenvolvendo-as ao longo de suas multicamadas;

Al_2O_3 – também conhecida como alumina é um componente que, quando usado nos revestimentos, confere a estes, resistência ao desgaste, alta dureza a quente e inércia química, mesmo em altas temperaturas. Ao agir como uma barreira térmica para a superfície da ferramenta faz com que o calor gerado seja conduzido mais para o cavaco e menos para o conjunto ferramenta/dispositivos de fixação. Tem ótima resistência contra a craterização.

Os cermets são obtidos pela metalurgia do pó e podem ser constituídos principalmente de carbonetos e nitretos de titânio (TiC; TiN) utilizando, quase sempre, o níquel (Ni) como elemento ligante. D'Errico et al.⁽⁴⁾ citam que uma combinação balanceada de dureza e tenacidade é obtida com compostos à base de carbonitreto de titânio (TiCN), carboneto de tungstênio (WC) e carboneto de molibdênio (Mo_2C), sinterizados com o níquel (Ni) e o cobalto (Co). Durante o processo de sinterização a presença de carbonetos de titânio e demais óxidos presentes na mistura inibem o crescimento dos grãos, conferindo elevada dureza.

O cermet possui bons níveis de tenacidade e resistência a impactos; elevada resistência ao desgaste nas arestas de corte e elevada resistência a craterização, por possuir alta dureza a elevadas temperaturas e grande estabilidade química, com pouca tendência à difusão. É possível encontrar também outros elementos, presentes na sua composição, como: o alumínio (Al) e o molibdênio (Mo) e ainda alguns compostos como: carboneto de tântalo (TaC), carboneto de nióbio (NbC), carboneto de vanádio (VC), nitreto de alumínio (AlN), nitreto de tântalo (TaN), entre outros, segundo Schneider⁽⁵⁾ e Machado e Da Silva⁽⁶⁾. Dá-se preferência aos cermets para usinagem de acabamento e superacabamento de ferrosos, em especial os ferros fundidos e os aços endurecidos, devido às pequenas áreas de contato entre o cavaco e a ferramenta, podendo trabalhar com altas velocidades de corte mas, necessariamente, devem ser utilizados com pequenos avanços e pequenas profundidades de usinagem.

A ISO (“International Organization for Standardization”) normatiza os principais tipos de deterioração em ferramentas e os classifica em: desgaste, avarias e deformação plástica. Os tipos de deterioração mais comumente identificados, segundo Diniz et al.⁽³⁾ e Machado e Da Silva⁽⁶⁾ são: desgaste frontal ou de flanco, que ocorre na superfície de folga e é causado pelo contato com a peça; o desgaste de cratera, que ocorre na superfície de saída da ferramenta e é causado não só pelo atrito da ferramenta com o cavaco mas está também associado às elevadas temperaturas geradas na interface cavaco ferramenta, ocorrendo devido à combinação de mecanismos de desgaste denominados difusão e adesão; a deformação plástica da aresta de corte, que ocorrem devido às elevadas pressões e temperaturas geradas na ponta das ferramentas; os lascamentos; as trincas e as quebras.

No fresamento frontal (ou faceamento) utilizando ferramentas com insertos, como é o caso do presente trabalho, foram utilizados os parâmetros da ISO 8688-1⁽⁸⁾ relativos à avaliação do desgaste uniforme de flanco (VB1), definido como a “superfície desgastada que possui a uma espessura normalmente constante e se estende ao longo da aresta da ferramenta, considerando-se a medição sobre a aresta ativa”, considerando-se o plano ortogonal da ferramenta para a medição.

Os principais fenômenos causadores de desgastes de ferramentas, segundo Machado e Da Silva⁽⁶⁾, Diniz et al.⁽³⁾ e Trent e Wright⁽¹⁾, são: deformação plástica superficial; deformação plástica da aresta de corte; desgaste por difusão; desgaste por aderência e arrastamento; desgaste por abrasão; desgaste de entalhe e a oxidação.

4. EQUIPAMENTOS, MATERIAIS e METODOLOGIA

4.1. Equipamentos Utilizados

Os testes de vida de ferramentas foram executados no centro de usinagem da marca ROMI, modelo Discovery 560, com potência de 9,0 kW e rotação máxima de 7.500 rpm, equipado com comando numérico da marca Siemens 810D. A medição do desgaste uniforme de flanco das

ferramentas foi feita com o microscópio óptico marca Askania, equipado com micrômetro de resolução centesimal. A rugosidade foi medida com o rugosímetro da marca Mitutoyo, modelo SurfTest 301 em três pontos distintos, ao final de cada conjunto de passes.

4.2. Materiais para Corpos de Prova e Ferramentas de Corte

Para o desenvolvimento desta pesquisa foi utilizado o aço VHSUPER, identificado anteriormente. Dois tarugos, fornecidos em estado recozido (dureza média de 230 HB) foram utilizados para os ensaios de usinagem (dimensões de 270 x 220 x 100 mm e 240 x 200 x 140 mm).

Foram escolhidas três classes de pastilhas aplicáveis aos trabalhos de fresamento de aços alta-liga, classificadas pela Norma ISO 513 (2004). Com geometria circular, com 10 mm de diâmetro, código R300-1032E-PM, suas principais características são relacionadas a seguir, conforme catálogo do fabricante, Sandvik Coromant⁽⁷⁾ e Diniz et al.⁽⁹⁾:

- CT 530 (HT) – cermet sem revestimento, da classe ISO P20, indicada para operações de fresamento leve, principalmente quando se deseja usinagem sem refrigeração.

- GC 1025 (HC) – metal duro com tamanho de grãos menores que 1 μm , com revestimento PVD de TiCN da classe ISO P10. Indicada para fresamento leve e médio de aços, onde a elevada resistência ao desgaste se faz necessária.

- GC 4040 (HC) – metal duro, com tamanho de grão em torno de 5 μm , com elevada tenacidade. Possui revestimento multicamada MT-CVD da classe ISO P40 contendo TiN + TiCN + Al₂O₃. Indicada para operações que exigem tenacidade no fresamento de aços.

As mesmas foram montadas na fresa de topo toroidal Coromill® 300 código R300-25T12-10M, afixadas ao eixo árvore por meio da haste com acoplamento com rosca – MAS BT (JIS B 6339), código 392.55T-40 12 098, compondo, assim, o conjunto de corte modular Coromill® 300 para fresa \varnothing 25 mm.

4.3. Metodologia

Os testes de vida foram executados por fresamento frontal discordante, sem a utilização de fluido de corte e por meio de passadas no sentido do maior comprimento do corpo de prova. As condições de corte foram selecionadas a partir de orientações do catálogo do fornecedor das ferramentas, sendo alterados em alguns casos para melhor avaliação do desempenho das pastilhas.

Foram empregados os seguintes parâmetros de corte: velocidade de corte (v_c) de 300, 370 e 440 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$; avanço por aresta (f_z) afixados em valores entre 0,10 mm/aresta e 0,25 mm/aresta, em intervalos de 0,05 mm/aresta, penetração de trabalho (a_e) igual a 12,5 mm e profundidade de usinagem (a_p) igual a 0,50 mm, estes dois últimos mantidos constantes durante todo o teste.

A medição do desgaste de flanco médio VB1 foi feita em uma das arestas de corte das três pastilhas que compõem o conjunto, utilizando como critério de fim de vida um desgaste igual ou superior a 0,50 mm e uma das arestas de corte.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente foram traçadas as curvas de vida de ferramentas em função do comprimento linear efetivamente fresado L (metros) até que a ferramenta atingisse ou superasse VB1 = 0,50 mm.

Na Figura 1 o eixo cartesiano das ordenadas representa VB1 (mm) e o eixo das abscissas representa L. Foi utilizado um avanço $f_z = 0,10$ mm/aresta para a pastilha da classe 1025, variando-se a velocidade corte nos valores de 300, 370 e 440 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$. Optou-se pela representação de L com a faixa de escala variando de zero até o valor de 120 m, para comparação com testes semelhantes efetuados com as pastilhas das classes 530 e 4040.

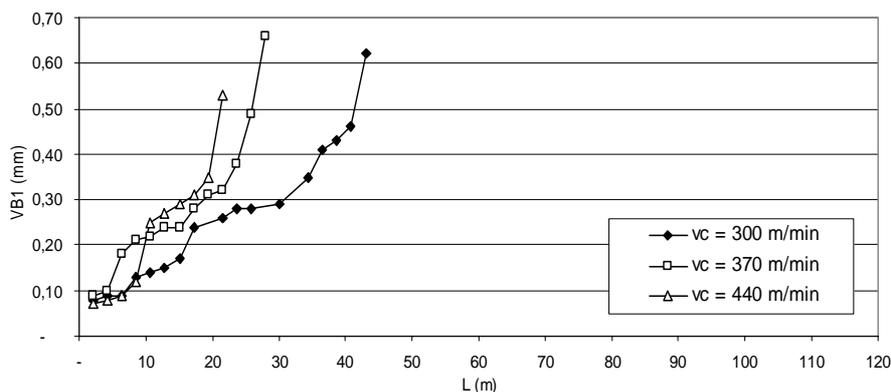


Figura 1. Curvas de desgaste uniforme de flanco – VB1 para pastilhas classe 1025, em função do comprimento linear fresado, para diferentes valores de v_c ($f_z = 0,10$ mm/aresta).

Pode-se observar na Figura 1 que, com o aumento da velocidade de corte, a vida da ferramenta diminui sensivelmente.

Entretanto, a Figura 2 ilustra que, empregando as pastilhas da classe 530, foi obtida uma inesperada relação entre o desgaste e a vida da ferramenta ao se utilizar $v_c = 370$ m.min⁻¹. Uma das justificativas para esta ocorrência seria o fato de que o aumento da velocidade de corte, com os demais parâmetros mantidos, resulta uma aceleração dos mecanismos de desgaste termicamente ativados, permitindo uma vida maior com $v_c = 370$ m.min⁻¹ do que com $v_c = 300$ m.min⁻¹. Santos e Sales⁽¹⁰⁾ citam que a elevação da temperatura na ferramenta traz como consequência a redução da resistência à deformação plástica do material da ferramenta criando dessa forma condições favoráveis para os mecanismos de desgaste termicamente ativados. Com o subsequente aumento da velocidade de corte para 440 m.min⁻¹, entretanto, a vida da ferramenta diminui de forma significativa.

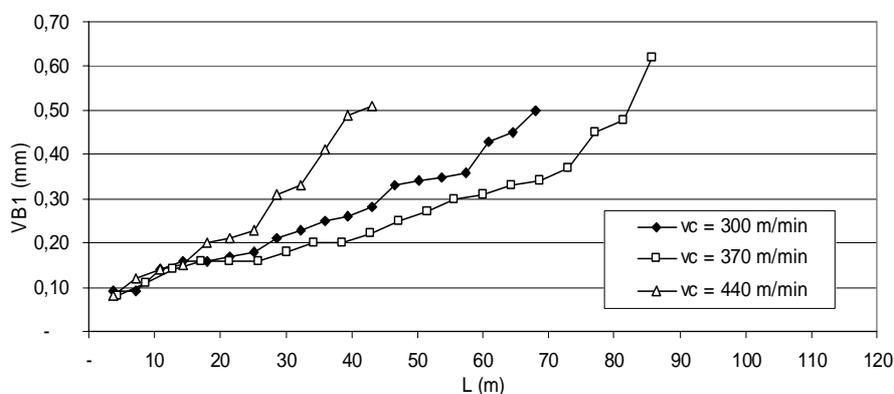


Figura 2. Curvas de desgaste uniforme de flanco – VB1 para pastilhas classe 530, em função do comprimento linear fresado, para diferentes valores de v_c ($f_z = 0,15$ mm/aresta).

A Figura 3, obtida com a utilização de pastilhas da classe 4040, prevalece a relação de diminuição de vida com aumento de velocidade de corte mas percebe-se que a vida da ferramenta é significativamente menor ao se trabalhar com $v_c = 440$ m.min⁻¹. Não obstante, dos três tipos de classes de pastilhas analisadas esta classe foi a que proporcionou vida mais longa para esta condição.

A pastilha da classe 530 é de cermet sem revestimento e embora possua elevada resistência à deformação plástica e à abrasão, tem baixa condutividade térmica e possui elevado coeficiente de expansão volumétrica. Assim, a alternância de temperaturas altas e baixas facilita a nucleação de trincas neste material. Por este motivo os cermets são indicados para usinagem de acabamento e superacabamento de materiais ferrosos, uma vez que nestes processos ocorrem contatos em

pequenas áreas entre o cavaco e a ferramenta, com pequenos avanços de corte (f) e pequenas profundidades de usinagem (a_p).

A pastilha GC 4040 possui revestimento multicamada MT-CVD, contendo TiN + TiCN + Al₂O₃. Além das características citadas para o TiCN e o pelo fato de que o TiN pode ser aplicado na usinagem de uma gama variada de materiais, a alumina, presente em uma das camadas, confere elevada resistência ao desgaste, inércia química e, principalmente elevada dureza a quente, conferindo à pastilha uma durabilidade superior às demais.

Tomando-se como referência a pastilha de menor custo, que é a da classe 530, as outras duas a superam em 25%. Embora os custos unitários sejam relativamente baixos, em processos industriais de elevada produção estes fatores são determinantes na escolha final junto com um outro fator importante, que é o tempo de troca de ferramental.

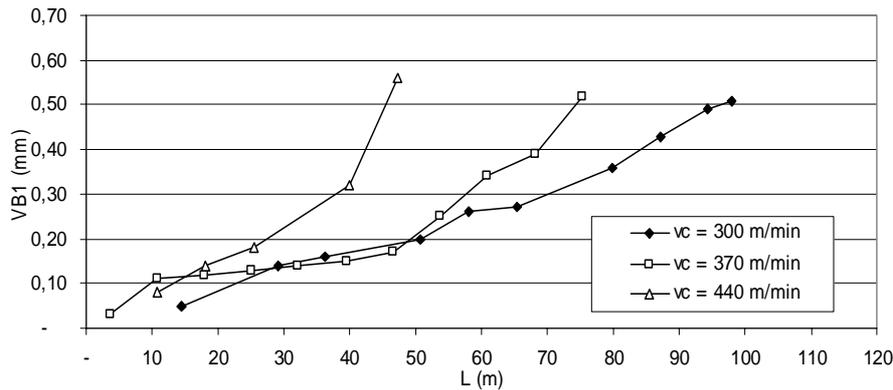


Figura 3. Curvas de desgaste uniforme de flanco – VB1 para pastilhas classe 4040, em função do comprimento linear fresado, para diferentes valores de v_c ($f_z = 0,15$ mm/aresta).

Para avaliação do comportamento quando se altera o avanço por aresta, foram escolhidas as pastilhas da classe 530 e da classe 4040 e a velocidade de corte $v_c = 370$ m.min⁻¹.

Na Figura 4, com utilização das pastilhas da classe 530, observa-se que o desgaste é semelhante para os diferentes avanços. Entretanto o maior avanço ($f_z = 0,25$ mm/aresta) foi o que promoveu vida mais longa. Tal comportamento pode ser explicado pelo endurecimento sofrido na superfície da peça, por encruamento, no momento do contato da ferramenta. O encruamento ocorre quando o aço sofre deformação abaixo da temperatura crítica fazendo com que os grãos se deformem. Esta deformação altera as propriedades do material, aumentando os valores de resistência, o limite de escoamento, a dureza e fragilizando o material. Por outro lado resulta na diminuição do alongamento, da resistência a estrição, da resistência a corrosão, etc. Se, entretanto, o material encruado for reaquescido, os cristais se reagruparão e o encruamento tende a desaparecer.

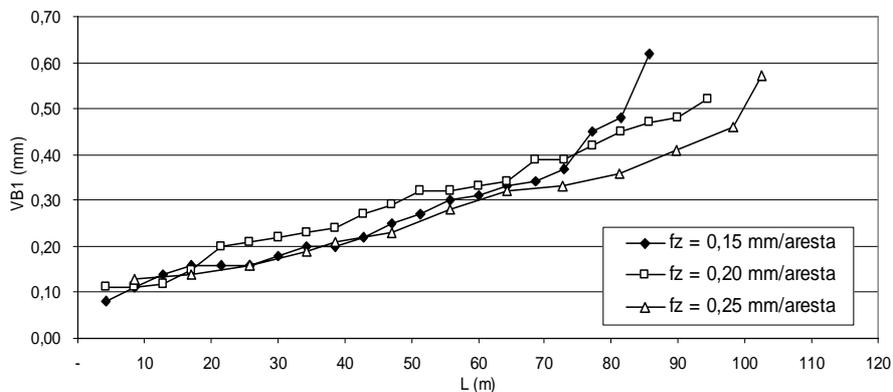


Figura 4. Curvas de desgaste uniforme de flanco – VB1 para pastilhas classe 530, em função do comprimento linear fresado, para diferentes valores de avanço f_z ($v_c = 370$ m.min⁻¹).

Com a utilização de avanços menores, a ferramenta fresa as camadas de material encruadas durante o passe anterior gerando, como consequência, a promoção de um desgaste prematuro da aresta de corte. Nos avanços maiores, esta camada encruada é ultrapassada e a ferramenta toca a peça com sua dureza normal. O aumento do avanço também produz aumento das forças de fresamento, com consequente aumento da temperatura do cavaco, facilitando assim o seu arrancamento e permitindo maior vida da ferramenta.

A Figura 5, obtida com pastilhas da classe 4040, observa-se mais uma vez que o maior avanço ($f_z = 0,25$ mm/aresta) também propiciou vida mais longa mas, diferentemente do caso anterior, foi significativamente maior do que a obtida com o avanço $f_z = 0,15$ mm/aresta. Este aumento da vida da ferramenta também foi maior que o obtido com as pastilhas da classe 530 nas mesmas condições, como se pode avaliar na Figura 4

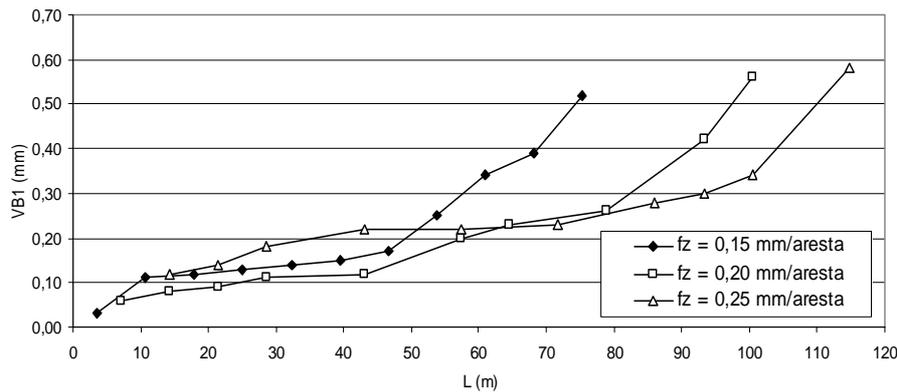


Figura 5. Curvas de desgaste uniforme de flanco – VB1 para pastilhas classe 4040, em função do comprimento linear fresado, para diferentes valores de avanço f_z ($v_c = 370$ m.min⁻¹).

Na comparação de vida de ferramenta entre os três tipos de pastilhas, foram feitos testes utilizando os mesmos parâmetros. Ao se utilizar a velocidade de corte $v_c = 370$ m.min⁻¹ e avanço por aresta $f_z = 0,15$ mm/aresta obteve-se o gráfico da Figura 6 e com a mesma velocidade de corte e avanço por aresta $f_z = 0,20$ mm/aresta foi obtido o gráfico da Figura 7, respectivamente.

No primeiro caso, observa-se que a pastilha da classe 530 superou a vida da pastilha da classe 4040 a partir de um comprimento linear fresado $L = 60$ m.

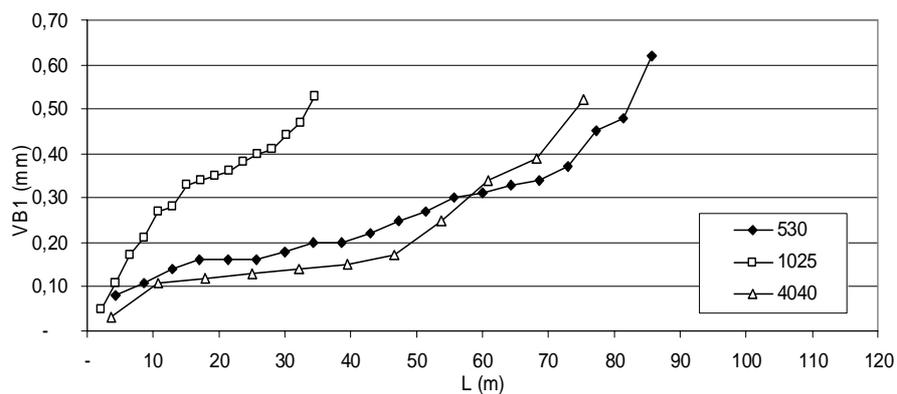


Figura 6. Curvas de desgaste uniforme de flanco – VB1 em função do comprimento linear fresado, para diferentes classes de pastilha. ($v_c = 370$ m.min⁻¹, $f_z = 0,15$ mm/aresta).

Na Figura 7, onde se apresentam os resultados para $f_z = 0,20$ mm/aresta, é possível observar que, embora a pastilha da classe 530 tenha apresentado uma taxa de desgaste mais homogênea, foi a pastilha da classe 4040 que apresentou a vida mais longa.

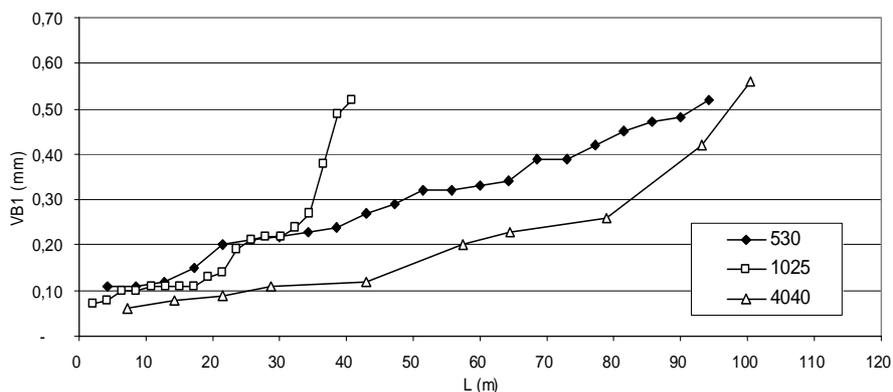


Figura 7. Curvas de desgaste uniforme de flanco – VB1 em função do comprimento linear fresado, para diferentes classes de pastilha. ($v_c = 370 \text{ m.min}^{-1}$, $f_z = 0,20 \text{ mm/aresta}$).

Baseado nos levantamentos e nas figuras anteriormente apresentadas, é possível elaborar curvas de vida considerando o comprimento fresado em função de f_z e v_c , podendo ser expressos de forma gráfica (Figura 8), o que permite perceber que as pastilhas da classe 4040 apresentam um desempenho melhor a partir de avanços por aresta maiores que $f_z = 0,20 \text{ mm/aresta}$ do que a pastilha da classe 530.

Ambas, entretanto, superam de maneira acentuada as pastilhas da classe 1025 nesta avaliação. Tal se deve ao fato de que as pastilhas da classe 1025 utilizaram parâmetros de corte muito acima do recomendado pelo fabricante, o que ocorreu em menor escala para as classes 530 e 4040.

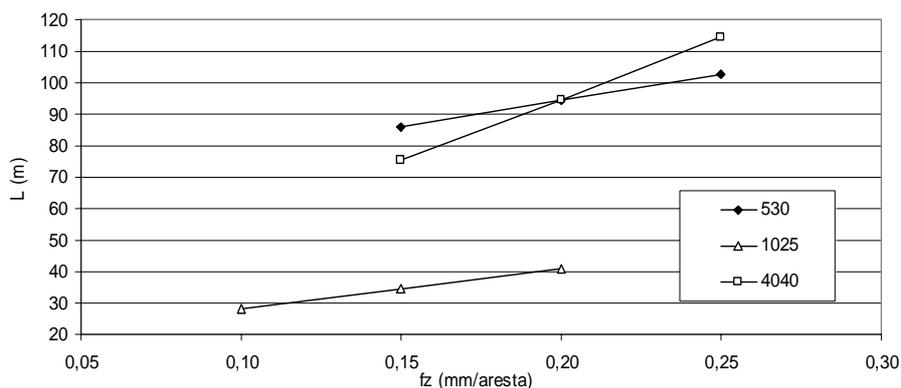


Figura 8. Comprimento linear fresado em função do avanço por aresta para as três classes de pastilhas.

Na Figura 9 ressurgiu o comportamento descrito anteriormente ao se analisar a Figura 2, onde a vida da ferramenta apresenta-se maior com utilização de $v_c = 370 \text{ m.min}^{-1}$ do que com $v_c = 300 \text{ m.min}^{-1}$. Outra possibilidade é que tenha ocorrido a presença de incrustação ou outro fator que tenha provocado danos precoces na aresta, com os parâmetros $f_z = 0,15 \text{ mm/aresta}$ e $v_c = 300 \text{ m.min}^{-1}$.

Da mesma forma apresentada nas outras análises, as pastilhas da classe 4040 apresentam vida mais longa do que as das outras classes, exceto quando se usa com $v_c = 370 \text{ m.min}^{-1}$, onde as pastilhas da classe 530 se sobressaem.

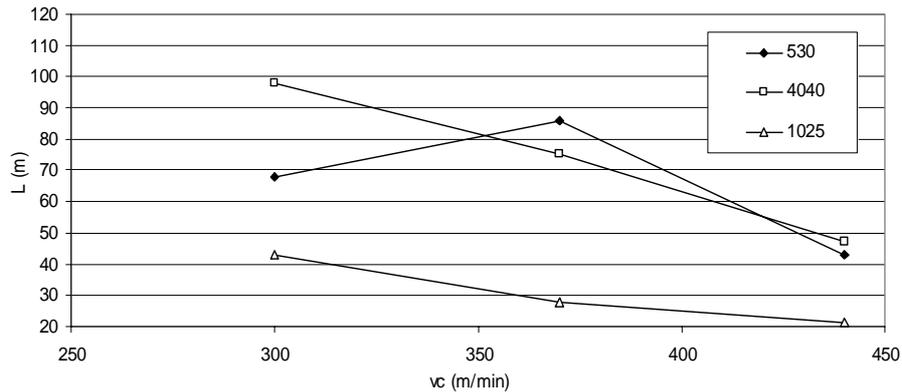


Figura 9. Comprimento fresado em função da velocidade de corte para as três classes de pastilhas testadas (530 e 4040 com $f_z = 0,15$ mm/aresta e 1025 com $f_z = 0,10$ mm/aresta).

6. CONCLUSÕES

Após a realização de ensaios de fresamento discordante do aço para trabalho a quente VHSUPER com ferramentas de metal duro revestido e cermet, as seguintes conclusões podem ser extraídas:

De um modo geral, a ferramenta que apresentou maior vida foi a ferramenta de metal duro com revestimento multicamada MT-CVD contendo $TiN + TiCN + Al_2O_3$, seguida pela ferramenta de cermet e finalmente pela ferramenta de metal duro com revestimento PVD de $TiCN$.

Com a elevação da velocidade de corte observou-se que a vida das ferramentas foi menor do que com velocidades menores.

A elevação do avanço, dentro da faixa testada, permitiu o aumento da vida das ferramentas, como se pode notar nas Figuras 4, 5 e 8.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Rede de Materiais para Usinabilidade Melhorada (REMAUSME), ao CNPq, à Villares Metals S/A e à Sandvik Coromant.

8. REFERÊNCIAS

1. TRENT, Edward M. e Wright, Paul K. **Metal cutting**. 4th ed. USA: Butterworth-Heinemann, 2000. 446 p. ISBN 0-7506-7069-X.
2. HOLMBERG, Kenneth e Matthews, Allan. **Coatings tribology – properties, techniques and applications in surface engineering**. Amsterdã, Holanda: Elsevier, 1994. 442 p.
3. DINIZ, Anselmo E.; Marcondes, Francisco C.; Coppini, Nivaldo L. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. São Paulo: MM Editora, 1999. 244 p.
4. D'ERRICO, G. E., Bugliosi, S., Cuppini, D., Guglielmi, E. A study of cermets' wear behavior. **Wear**. v. 203-204. pág. 242-246. Elsevier, Artigo, 1997. 5 p. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 20 setembro 2006.
5. SCHNEIDER Jr, George. **Principles of tungsten carbide engineering**. 2nd ed. Southfield, MI, USA: Society of Carbide and Tool Engineers, ASM, 1989. 212 p.
6. MACHADO, Álisson R. e da Silva, Márcio B. **Usinagem dos metais**. 4. ed. Uberlândia: Editora Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Apostila, 1999. 224 p.

7. SANDVIK COROMANT. **Fabricação de moldes & matrizes**. Suécia: Catálogo, 2002. 258 p.
8. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **International Standard – ISO 8688-1 – Tool Life Testing in Milling – Part 1 Face Milling**. 1st ed. Genève, Switzerland, 1989. 32 p.
9. DINIZ, Anselmo E., Ferreira, J. R., Silveira J.F. Toroidal milling of hardened SAE H13 Steel. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**. v. XXVI. n. 1, pág. 17-21. Rio de Janeiro: ABECM, Artigo, 2004. 5 p. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/jbsmse/v26n1/a03v26n1.pdf>>. Acesso em: 20 setembro 2006.
10. SANTOS, Sandro C. e Sales, Wisley F. **Fundamentos da usinagem dos materiais**. Belo Horizonte: CEFET-MG e PUC MINAS, Apostila, 2004. 274 p.

TOOL LIFE WHEN MILLING HOT WORK DIE STEEL

José Luiz Silva Ribeiro

Pontifical Catholic University of Minas Gerais

Av. Dom José Gaspar, 500, Coração Eucarístico, Belo Horizonte, MG, ribeirojls@pucminas.br

Alexandre Mendes Abrão

University of Minas Gerais

Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte, MG, abrao@ufmg.br

***Abstract.** The concept of cost reduction has been continually developed in all the industrial sector aiming to make companies more competitive. In the productive chain of moulds and dies this concern is not different. These moulds require long milling and polishing times, which involve from 60 to 80% of the final costs. This work aims to study the influence of the machining parameters on tool life of coated carbide and cermet cutting tools during dry milling of the VHSuper hot work die steel. The milling parameters assessed were tool material, cutting speed (v_c) and feed rate (f_z). The results indicated that, within the cutting range tested, tool life was reduced as cutting speed increased, however it increased with the feed rate. As far as the tool material is concerned, best results were obtained with the MT-CVD TiN + TiCN + Al₂O₃ coated carbide tool.*

***Keywords:** milling, tool life, wear, tool steel.*