

O EFEITO DA ADIÇÃO DE CÁLCIO NA USINABILIDADE DE AÇOS PARA MOLDES PARA PLÁSTICOS

Júlio César Giubilei Milan

Álison Rocha Machado

Celso Antonio Barbosa *

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Av. João Naves de Ávila, 38408-100, Uberlândia, MG, Brasil

*Villares Metals S.A., Avenida Eletrometal, 1100, Cep 13177-900, Sumaré, SP

Resumo

Atualmente o tratamento com o cálcio, que consiste em uma desoxidação especial utilizando o cálcio, é uma importante alternativa para melhora da usinabilidade dos aços. Este tratamento possibilita a melhora da usinabilidade sem, contudo, prejudicar suas propriedades mecânicas. Ele age através da modificação das inclusões de óxidos e da formação de uma camada protetora sobre a superfície da ferramenta durante a usinagem. Neste trabalho a usinabilidade de três variações de um mesmo aço (ABNT P20), duas delas tratadas com cálcio, foi avaliada em termos de vida da ferramenta e potência consumida. O processo utilizado foi o fresamento de topo (canais), no qual foram levantadas as equações de Taylor. Foram utilizadas fresas com pastilhas de metal duro intercambiáveis com revestimento múltiplo de TiN, TiC e Al₂O₃. O aço tratado com cálcio foi superior ao aço não tratado, chegando a apresentar cerca de 76% mais volume de material removido na condição mais favorável.

Palavras chave: Usinabilidade, Fresamento de canais, Aços para moldes, Usinabilidade melhorada pelo cálcio, Inclusões óxidas.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente com a grande produção de peças plásticas e com a freqüente mudança na forma destas peças, há uma grande demanda de aços utilizados para produção de moldes para injeção de plástico. Os moldes são utilizados para produzir um grande número de componentes com a forma mais próxima possível da forma final deste componente (Altan et al, 1993). Como em todos moldes e matrizes utilizados industrialmente, os aços destinados para moldes para injeção de plástico também devem possuir propriedades mecânicas adequadas e um grau de dureza elevado além de um excelente acabamento superficial e serem resistentes a corrosão (Altan et al, 1993). Geralmente a forma complicada, com superfícies esculpidas, e material com dureza relativamente alta fazem a confecção das matrizes e moldes uma tarefa de difícil execução, por isto é necessário que estes aços possuam uma boa usinabilidade.

Os aços modernos utilizados em moldes tem a usinabilidade melhorada através da modificação das inclusões, duras e abrasivas, presentes em todos aços fundidos. Nestes materiais, a utilização de elementos de livre corte, como o enxofre por exemplo, se tornou inviável devido a problemas de deterioração das propriedades mecânicas além de sua

segregação durante a fundição, principalmente devido ao grande porte dos blocos fundidos, que podem ultrapassar dimensões de 1000 mm X 1000 mm.

O tratamento com o cálcio tem sido utilizado com sucesso na melhora da usinabilidade sem, contudo, alterar significativamente as propriedades mecânicas. Segundo Engineer (1988) este tratamento melhora a usinabilidade dos aços a quaisquer níveis de enxofre.

O efeito deste tratamento age basicamente de duas maneiras:

1) Alterando a morfologia das inclusões de óxidos, tornando-as mais brandas, ou seja, menos abrasivas, e arredondadas. Quando o nível de enxofre é mais elevado há a formação de uma camada de sulfeto de manganês-cálcio (Mn, Ca)S envolvendo as inclusões óxidas remanescentes, tornando, assim, estas partículas efetivamente menos abrasivas.

2) Formando uma camada protetora sobre a superfície da ferramenta durante o processo de usinagem. Esta camada é formada devido a altas temperaturas desenvolvidas durante a usinagem, quando os óxidos de cálcio se amolecem sobre a superfície da ferramenta (Mori et al, 1988) aderem sobre esta, formando uma barreira física, dificultando o desgaste. A Figura 1 ilustra a camada formada impedindo o contato direto entre a peça e a ferramenta.

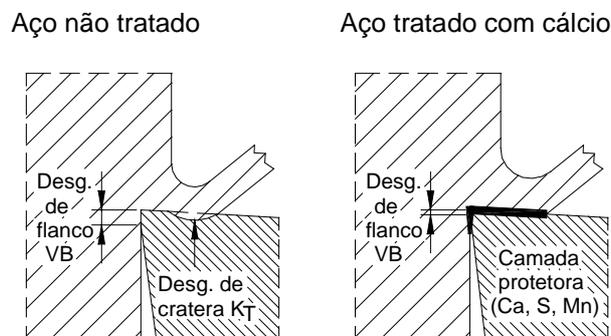


Figura 1. Comparação dos tipos de desaste (Tönshoff & Cassel, 1993)

O tratamento com cálcio vem se tornando rotineiro na fabricação de vários aços industriais, incluindo os inoxidáveis, e vários trabalhos são apresentados mostrando a eficiência do procedimento em melhorar a usinabilidade.

Tönshoff e Cassel, (1993), por exemplo, obtiveram um aumento na vida da ferramenta de até seis vezes quando usinando aços tratados com cálcio com ferramentas de Cermet constituídas principalmente de TiN e TiC, quando comparado com aços não tratados.

Este trabalho compara, através da equação de Taylor (Ferraresi, 1977), a usinabilidade de um aço para moldes para plástico convencional com o mesmo material, porém, tratado com cálcio. Trata-se de fresamento de topo (canais), utilizando ferramentas de metal duro revestidas. Consideraram-se a vida da ferramenta e a potência consumida durante os ensaios.

2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

O trabalho experimental foi realizado no Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem – LEPUS – da Faculdade de Engenharia Mecânica - DEEME - da Universidade Federal de Uberlândia. Foram realizados os ensaios de vida (medição de VB_B) para determinação da equação de Taylor.

Os materiais utilizados foram três variações do mesmo aço. São aços Cr-Ni-Mo elaborados através de degaseificação a vácuo e fornecidos no estado temperado e revenido, todas três com a mesma designação ABNT P20 (mesma designação ASTM, SAE e AISI, similar ao W.NR. 1.2738 da norma DIN). O material foi fornecido pela Villares Metals S.A. A primeira das variações, o aço convencional, foi designado VP20, as outras duas variações

foram submetidas ao tratamento com cálcio e foram designadas como VP20 UF1 e VP20 UF2. A diferença entre estes dois últimos está no rendimento do cálcio, ou seja, a eficiência de absorção deste elemento que é dada pela quantidade de cálcio incorporada pelo aço em relação a que foi injetada no aço fundido. Segundo o fabricante, o aço VP20 UF1 apresentou uma eficiência de incorporação do cálcio maior que o VP20 UF2. No primeiro, o rendimento do cálcio foi de 4,8 %, enquanto que no segundo foi de 2,9 %. Este rendimento é baixo devido as altas pressões de vapor do cálcio nas temperaturas do aço líquido (aproximadamente 1600 °C). O segundo tinha um grau de desoxidação maior, o que também levou a um rendimento de adição menor. A diferença de rendimento foi causada pela variação na velocidade de alimentação do arame contendo cálcio na panela fundida. A Tabela 1 mostra a composição química das três variações do aço. As três variações do aço possuem a mesma dureza média de 34 HRC.

Tabela 1. Composição química do aço fornecida pelo fabricante (% em massa).

Material	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Al	P	S	Ca (ppm)
VP20	0,36	0,27	1,38	1,87	0,97	0,21	0,016	0,013	0,015	-
VP20 UF1	0,37	0,32	1,42	1,84	0,97	0,17	0,006	0,015	0,0018	19
VP20 UF2	0,35	0,30	1,48	1,83	0,92	0,18	0,009	0,017	0,0012	11

Em todos os ensaios foi utilizada uma fresa de topo R215 44 20BD 09C com três arestas cortantes e diâmetro de 20 mm. As pastilhas de metal duro triplamente revestidas com TiN TiC e Al₂O₃, classe P25 foram R215.44-09 02 08M-WH 4030 (P25).

Os blocos de aço foram utilizados inicialmente com as dimensões mostradas na Figura 2, e os canais foram feitos no sentido da maior dimensão do mesmo. A cada dez canais a superfície do bloco foi usinada com uma fresa frontal para que não houvesse qualquer tipo de interferência (rebarbas) dos canais anteriormente usinados sobre a superfície da ferramenta.

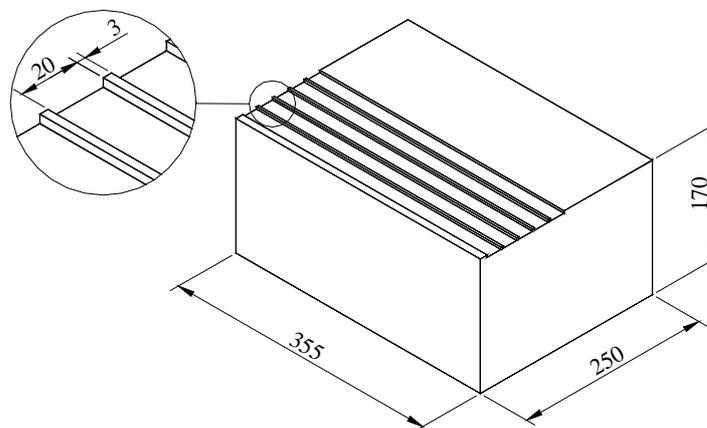


Figura 2. Dimensões dos blocos utilizados nos ensaios

Foi utilizada uma fresadora CNC Interact 4, da Romi, com 16 KW de potência, com variação contínua de velocidade de corte (40 a 4000 rpm) e avanço (0 a 4800 mm/min.). O desgaste de flanco médio foi medido em um microscópio ferramenteiro desenvolvido no LEPU, especificamente para medição de desgaste em ferramentas multicortantes, com aumento de 40 X, precisão de 0,01 mm e resolução de 5 µm, sendo que a frequência de medição variou de acordo com a severidade dos ensaios.

A vida da ferramenta foi analisada em termos do desgaste produzido em função do tempo de usinagem. Ela chega ao final de vida quando o desgaste, VB_B , atinge um valor pré

determinado. O desgaste de flanco médio, VB_B , é definido segundo a norma ISO 3685 como mostra a Figura 3.

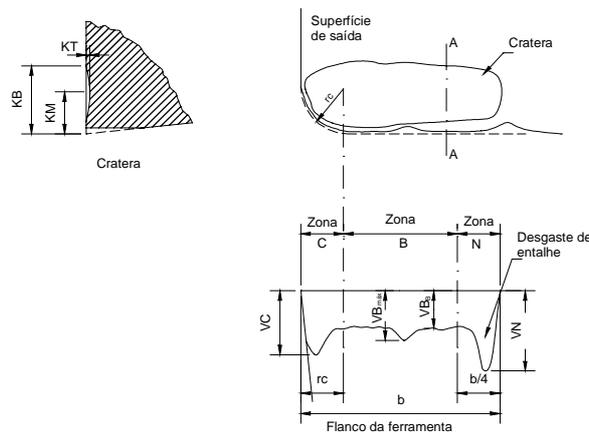


Figura 3 – Parâmetros utilizados para medir os desgastes das ferramentas de corte (norma ISO 3685).

A determinação dos coeficientes da equação de Taylor foi feita através de uma metodologia desenvolvida no LEPU (Santos 1996) para otimizar o número de testes. Trata-se de um programa computacional que calcula (estatisticamente) os melhores valores para as condições de corte a partir da faixa de velocidade de corte, profundidade de corte e avanço indicados pelo fabricante das ferramentas. Com isto obtém-se a equação de Taylor com o menor número possível de ensaios. Os valores de entrada e saída do programa são mostrados nas Tabelas 2, 3 e 4. A seguir é mostrada a equação de Taylor na sua forma expandida, onde T é a vida da ferramenta, K é a constante de Taylor, VB_B é o desgaste de flanco médio, v_c é a velocidade de corte, f_z é o avanço por dente, a_p é a profundidade de corte e A, B, C e D são constantes.

$$T = K \cdot VB_B^A \cdot v_c^B \cdot f_z^C \cdot a_p^D \quad (1)$$

Tabela 2. Condições de corte para alimentação do programa (faixa indicada pelo fabricante das ferramentas).

	Mín.	Máx.
v_c (m/min)	120	220
a_p (mm)	1,0	3,0
f_z (mm/dente)	0,075	0,15

Tabela 3. Condições de corte utilizadas para obtenção da equação expandida de Taylor para o aço VP20.

	v_c	a_p	f_z
Condição 01	123	1.70	0.141
Condição 02	196	2.62	0.098
Condição 03	208	2.05	0.09
Condição 04	128	2.66	0.084
Condição 05	219	2,48	0,088
Condição 06	159	3,0	0,148
Condição 07	220	2,84	0,117
Condição 08	220	1,81	0,079

Para os três materiais as quatro primeiras condições de corte são idênticas. Isto ocorreu porque os valores máximos e mínimos dos parâmetros de corte utilizados na entrada de dados do programa de otimização são os mesmos. Devido ao rendimento do material VP20 UF2 ter sido inferior ao do VP20 UF1 e semelhante ao do VP20, observado nos resultados das quatro primeiras condições de corte, resolveu-se não utilizar mais este aço em ensaios subsequentes, e levantar a Equação de Taylor apenas para os materiais VP20 e VP20 UF1.

Tabela 4. Condições de corte utilizadas para obtenção da equação expandida de Taylor para o aço VP20 UF1.

	v_c	a_p	f_z
Condição 01	123	1,70	0,141
Condição 02	196	2,62	0,098
Condição 03	208	2,05	0,09
Condição 04	128	2,66	0,084
Condição 05	220	2,15	0,0817
Condição 06	220	2,19	0,091
Condição 07	220	2,18	0,093
Condição 08	120	2,21	0,113

Com o decorrer dos ensaios verificou-se, com auxílio do programa de otimização, que a profundidade de corte não apresentava influência significativa na vida da ferramenta, contribuindo para que a equação obtida não a representasse satisfatoriamente. Então optou-se por eliminar este parâmetro no cálculo dos coeficientes da equação de Taylor, ou seja, utilizar a equação na sua forma um pouco mais simplificada, sem a profundidade de corte, como mostrado na equação 2.

$$T = K \cdot VB_B^A \cdot v_C^B \cdot f_z^C \quad (2)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em todas as condições de corte realizadas, o material tratado com cálcio, VP20 UF1, apresentou superioridade em relação a vida da ferramenta quando comparado com as outras variedades. Entre as duas variedades tratadas, o VP20 UF1 foi superior ao VP20 UF2, o que pode ser facilmente explicado através da maior absorção do cálcio pelo primeiro, como pode ser observado na Tabela 1. O desempenho do VP20 UF2 foi intermediário e semelhante ao do material não tratado. Porém, ainda assim pode-se ressaltar a eficiência do tratamento com o cálcio pois este material possui uma quantidade de enxofre cerca de dez vezes menor que o VP20.

A Figura 4 mostra o desgaste de flanco médio para os três materiais nas condições 1 e 3, condições nas quais houve a maior e a menor diferença de desempenho entre os materiais.

De acordo com os resultados obtidos e mostrados nas Figuras 4 e 5, pode-se observar que o aço tratado com cálcio apresentou melhor usinabilidade que o aço não tratado. A vida da ferramenta foi superior em todas condições de corte utilizadas para o VP20 UF1, e o VP20 UF2 apresentou resultados superiores em alguns ensaios e semelhantes ao VP20 em outros. Pode-se observar estes resultados na forma de volume de material removido, como mostrado na Figura 5. O aço VP20 UF1 possibilitou uma maior quantidade de material removido em todas condições de corte analisadas, sendo que esta superioridade variou de cerca de 41% até cerca de 77% nas condições de diferença mínima e máxima respectivamente. O VP20 UF2

apresentou resultados muito semelhantes ao VP20 com exceção da primeira condição, onde foi um pouco superior

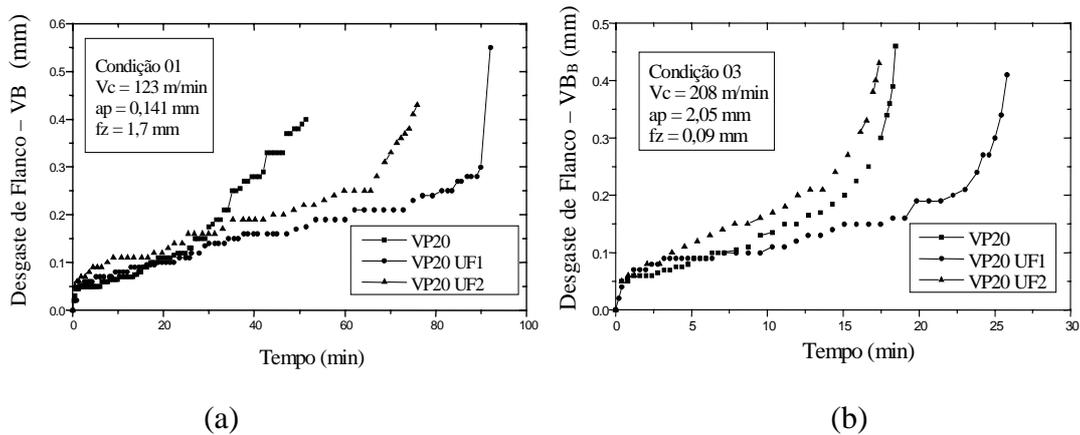


Figura 4. Desgaste de flanco médio (VB_B) em função do tempo de usinagem. (a) Condição 01 (b) Condição 03.

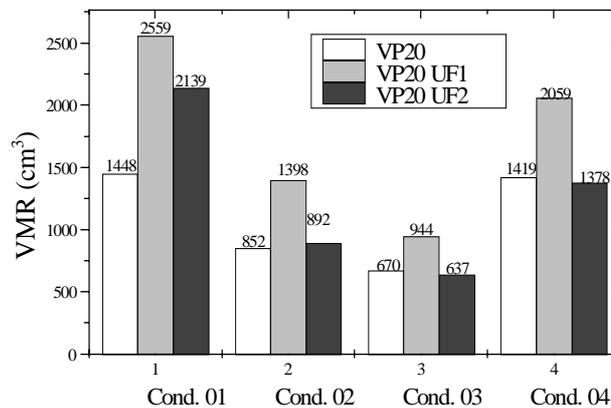


Figura 5. Volume de material removido no fresamento dos materiais VP20 e VP20 UF.

As equações expandidas de Taylor foram calculadas pelo programa computacional utilizado e são mostradas a seguir:

Para o VP20:

$$T = 7,998 \cdot 10^6 \cdot v_c^{-2,4613} \cdot f_z^{-0,429} \cdot VB_B^{0,9144} \quad (3)$$

Para o VP20 UF1:

$$T = 6,23 \cdot 10^6 \cdot v_c^{-1,6016} \cdot f_z^{0,7449} \cdot VB_B^{1,5394} \quad (4)$$

A Figura 6 mostra simulações das equações acima, para os dois materiais, em função da velocidade de corte e do avanço por dente. Em todas as curvas, a vida da ferramenta foi estudada dentro da faixa de condições de corte anteriormente estabelecida (indicada pelo fabricante). No caso da Figura 6 a) variou-se a velocidade de corte dentro desta faixa e o avanço foi mantido constante em seu valor médio ($f_z=0,1135$ mm/dente). Na Figura 6 b) utilizou-se o mesmo procedimento, porém, foi variado o avanço por dente e a velocidade de corte foi mantida constante em seu valor médio ($v_c=170$ m/min).

Qualquer que seja o parâmetro considerado (v_c ou f_z), a ferramenta apresentou uma superioridade considerável em relação ao tempo de vida para o aço VP20 UF1. Qualquer

simulação feita dentro da faixa de variação desses parâmetros, como mostrado nas figuras acima confirma esta superioridade.

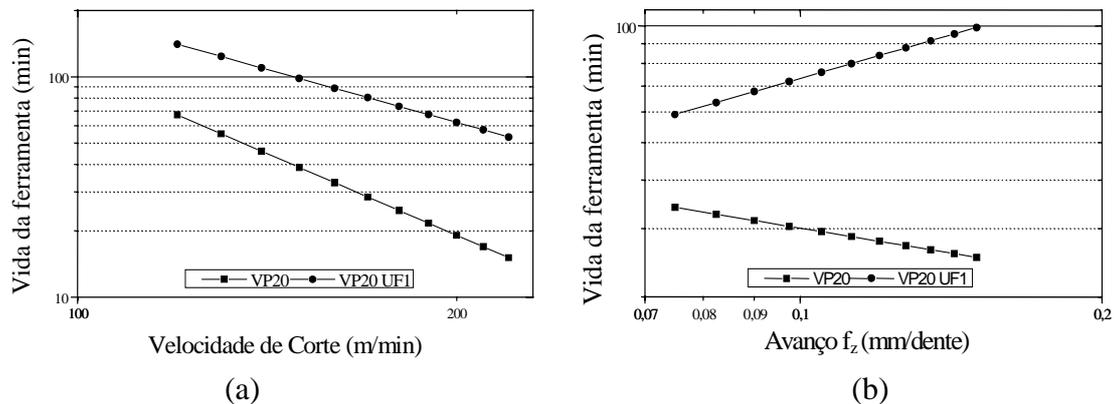


Figura 6. Simulação das equações de Taylor para o VP20 e o VP20 UF1 em função da (a) velocidade de corte para $f_z = 0,1135$ mm/dente e $VB_B = 0,4$ mm (b) em função do avanço por dente, para $v_c = 170$ m/min e $VB_B = 0,4$ mm.

Na Figura 6 a, pode-se verificar que a diferença na vida da ferramenta entre os dois materiais aumenta, em porcentagem, com o aumento da velocidade de corte. Isto pode ser explicado devido a maior geração de calor causada pelo aumento da velocidade. A geração de calor é uma condição necessária para formação da camada protetora. Apesar da vida da ferramenta diminuir com o aumento da velocidade, ela diminui numa taxa menor para o aço tratado do que para o aço não tratado com cálcio. Segundo Mori et al (1988), os óxidos de cálcio se amolecem sobre a superfície da ferramenta a altas temperaturas, cobrindo esta superfície prevenindo, assim, o desgaste.

Na Figura 6 b pode-se perceber que para o aço tratado, de acordo com a simulação feita, a vida da ferramenta aumenta com o aumento do avanço. Isto não ocorreu com o aço convencional. Novamente, a maior geração de calor com maiores avanços deve ser o fator que proporciona este aumento da vida da ferramenta através da formação mais adequada da camada protetora.

Segundo Fang e Zhang (1996), à altas temperaturas, as inclusões estão mais macias (menos abrasivas) ou perto da fusão e podem ser facilmente expelidas e cobrir a superfície da ferramenta para formar a camada aderente. O filme lubrificante formado sobre a aresta de corte ocorre devido as altas temperaturas ali desenvolvidas (1000 a 1250°C) (Tessler e Barbosa, 1994). Portanto, é necessário a geração de altas temperaturas para que o mecanismo pelo qual os aços tratados ao cálcio se torne mais eficiente.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e apresentados, pode-se tirar as seguintes conclusões:

- O aço tratado ao cálcio, VP20 UF1, apresentou uma vida superior ao aço não tratado em toda faixa de condições de corte analisada para o processo de fresamento de topo. A superioridade variou de 41 % a 77 % em termos de volume de material removido.
- O aço VP20 UF2 proporcionou uma vida da ferramenta inferior ao VP20 UF1 e, na maioria das condições, os resultados são semelhante aos encontrados para o aço não tratado. Isto ocorreu devido à menor eficiência de incorporação do cálcio no VP20 UF2, e conseqüentemente uma menor quantidade de inclusões modificadas pelo cálcio.

- O tratamento com cálcio se mostrou muito eficiente, mesmo no aço VP20 UF2, que teve um baixo rendimento de incorporação de cálcio, e apresentou resultados muito semelhantes ao aço não tratado, VP20, que possui uma quantidade de enxofre cerca de 10 vezes maior.
- O aumento da velocidade de corte reduziu a vida da ferramenta, enquanto o aumento do avanço proporcionou um aumento na vida da ferramenta, para o aço tratado, dentro da faixa de condições de corte estudada, para o processo de fresamento de topo.
- O tratamento ao cálcio desses materiais se mostrou eficiente, aumentando a vida da ferramenta, devendo ser fortemente recomendados.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem colaboração da Villares Metals S.A. pelo fornecimento dos materiais, ao técnico Reginaldo Ferreira de Souza pela contribuição nos ensaios experimentais, à CAPES pela bolsa de estudo fornecida a um dos autores, e à FEMEC/UFU pelas facilidades disponibilizadas.

6. REFERÊNCIAS

- Altan, T.; Lily, B. W.; Kruth, P. J.; König, W.; Tönshoff, H. K.; van Luttervelt, C. A.; Khairy, A. B., - “Advanced Techniques for Die and Mold Manufacturing”, Annals of CIRP, Vol 42/4, pp 707, 1993.
- Bhattacharya, D. - “Developments in the Machinability of Steel”, First International Conference on the Behaviour of Materials in Machining, November 1988.
- Capuccio, G.; Ferrante, A.; Bas, J. - “Aços Inoxidáveis Austeníticos com Óxidos Controlados, uma Tecnologia Cofac”, V Seminário Brasileiro do Aço Inoxidável – Inox 96, São Paulo, Nov. 1996.
- Engineer, S.; Huchtermann, B.; Schuler, V., - “An Investigation of the Effect of Sulphur, Tellurium and Calcium on the Machinability and Technological Properties of Engineering Steels”, First International Conference on the Behaviour of Materials in Machining, November 1988.
- Fang, X. D., Zhang, D. - “ An Investigation of Adhering Layer Formation During Tool Wear Progression in Turning of Free Cutting Stainless Steel”, Wear 197 (1996)
- Ferraresi, D., - “Fundamentos da Usinagem dos Metais”, Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo, 1977, 751 pgs
- Mori, T.; Yanase, M.; Ebihara, T.; Yoshida, M.; Niwa, S., - “Qualities of Free Cutting Steels for Machine Structural Use, Containing Calcium, Sulfur and Lead, Produced by continuous Casting Process”, First International Conference on the Behaviour of Materials in Machining, November 1988.
- Santos, A. L. B., “Otimização de Ensaios Utilizados na Determinação da Equação de Taylor Expandida”, Dissertação de Mestrados, UFU, Uberlândia MG, 1996.
- Tessler, M. B.; Barbosa, C. A., - “USIFAC: Aços inoxidáveis Austeníticos com Usinabilidade Melhorada”, Anais do 49º Congresso Anual ABM, São Paulo, Outubro – 1994.
- Tönshoff, H. K.; Cassel, C., - “Effects of Non-Metallic Inclusions in Quenched and Tempered Steel on the Wear Behavior of Cermet Cutting Tools”, Journal of the Society of Tribologists and Lubrication Engineers, Vol. 49, January, 1993.