

USINABILIDADE DOS AÇOS PARA MATRIZES DE INJEÇÃO DE PLÁSTICO

Júlio César Giubilei Milan

Álison Rocha Machado

Universidade Federal de Uberlândia, Departamento de Engenharia Mecânica
Cep 38408-100 – Uberlândia, MG, Brasil

Celso Antônio Barbosa

Villares Metals, Avenida Eletrometal, 1100
Cep 13177-900, Sumaré, SP

Resumo. *A usinabilidade de um aço para matriz de injeção de plástico, tratado ao cálcio, foi avaliada e comparada com o mesmo aço, porém sem o tratamento ao cálcio, por meios de ensaios de fresamento de topo (canais) utilizando uma fresa de 3 dentes com ferramentas de metal duro revestidas com TiN. O tratamento do aço com cálcio proporciona um controle da morfologia das duras e abrasivas inclusões do tipo alumina e silicato, presentes em todos os aços devido ao processo de desoxidação convencional com alumínio ou silício, modificando-as para inclusões menos abrasivas e mais arredondadas, o cálcio ainda controla a composição das inclusões de óxidos, fazendo com que permaneçam em estado viscoso nas altas temperaturas desenvolvidas na interface cavaco/ferramenta durante a usinagem. Houve um incremento na vida da ferramenta (da ordem de até 76%) quando utilizando o aço tratado ao cálcio, em relação ao convencional.*

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

1. INTRODUÇÃO

Matrizes e 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). 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. Além disso, os moldes para injeção devem ter um excelente acabamento superficial e também ser resistente a corrosão. Devido a um grande aumento na utilização de plástico nas últimas décadas houve um aumento na demanda por aços para injeção de plástico (Becker et al, 1990). Com aumento da demanda e exigência, sempre crescente, da melhor qualidade destes materiais, houve a necessidade de desenvolvimento de um aço que possibilitasse um menor tempo de fabricação das matrizes (tempo de usinagem), através de uma melhor usinabilidade, e que ainda mantivesse as propriedades mecânicas inalteradas.

Houve uma tentativa em se utilizar elementos químicos, como o enxofre e o chumbo, que já eram muito conhecidos e utilizados para melhorar a usinabilidade dos aços. Porém os aços para matrizes com estes elementos apresentaram problemas de segregação, e conseqüente anisotropia do material, devido as grandes dimensões em que os blocos, destinados a este tipo de uso, são fundidos. O enxofre causa ao material uma perda na resistência a corrosão, propriedade que é de grande importância para aplicação em moldes e matrizes, além de uma deterioração das propriedades mecânicas. Na prática, isto significou que os teores de enxofre deveriam ser reduzidos, ou uma restrição nas propriedades deveria ser tolerada. Na primeira opção haveria um incremento nos custos de produção devido a difícil usinabilidade dos aços com baixos teores de enxofre.

Como uma alternativa aos elevados teores de enxofre, em alguns aços, a usinabilidade pôde ser melhorada pelo tratamento com o cálcio. Este tratamento proporciona a redução dos teores de enxofre sem afetar sensivelmente a usinabilidade e, ao mesmo tempo, melhorar a microestrutura e as propriedades mecânicas e tecnológicas. Segundo Engineer et al (1988) o tratamento com o cálcio melhora a usinabilidade dos aços a qualquer teor de enxofre. Através do controle da desoxidação pode-se obter um aumento da usinabilidade.

A melhora na usinabilidade é conseguida com um controle da morfologia das inclusões do tipo alumina e silicatos e da formação de uma camada de óxido protetora na interface cavaco-ferramenta que atuam de forma muito parecida com os sulfetos: forma-se especialmente durante a usinagem com metal duro um filme lubrificante sobre a aresta de corte (Tessler e Barbosa, 1994). Esta camada, formada a altas temperaturas desenvolvidas durante a usinagem (1000 a 1250 °C) (Tessler e Barbosa, 1994) devido as altas velocidades de corte, diminui, assim, o desgaste da ferramenta (Yamane et al, 1991). Isto pode ser observado quando usinando com ferramentas de metal duro com revestimento de TiN ou ferramentas a base de WC contendo alta quantidade de TiC ou até ferramentas de aço-rápido revestidas com TiN (Kankaanpää et al, 1987). Ensaaios de usinagem com ferramentas de Cermet, constituídas principalmente de TiN e TiC, apresentaram um aumento de vida de cerca de seis vezes usinando aços tratados com cálcio quando comparado com aços não tratados (Tönshoff and Cassel, 1993). Vários pesquisadores encontraram uma redução no desgaste de cratera quando usinando aços tratados com cálcio devido a formação da camada protetora (Subramanian and Kay, 1988; Helistö et al, 1988; Ramanujachar and Subramanian, 1996). Kankaanpää et al (1987) alegou que a camada protetora pode se desenvolver tanto na superfície de saída como na de folga, porém, afirmou ser a superfície de saída a mais provável de apresentar esta camada devido as altas temperaturas ali desenvolvidas.

As práticas de desoxidação convencional têm como resultado inclusões de óxidos de elevada dureza e abrasividade, acarretando grande prejuízo à usinabilidade. Sua eliminação ou modificação para inclusões mais macias é uma tendência na produção de modernos aços com usinabilidade melhorada (Subramanian & key, 1988). Como a eliminação é difícil e onerosa, houve uma tentativa de se desenvolver um aço modificando estas inclusões de óxidos (Bhattacharya, 1988).

A desoxidação especial usando cálcio pode modificar as inclusões de alumina remanescentes para uma fase aluminato de cálcio que tem um ponto de fusão mais baixo e uma temperatura de amolecimento menor do que a da alumina. A níveis de enxofre mais elevados, há ainda a formação de uma camada de sulfeto de manganês-cálcio (Mn, Ca)S, envolvendo as inclusões de óxidos remanescentes, tornando, assim, estas partículas efetivamente menos abrasivas (Davies et al, 1988).

Os aços desoxidados por este método especial proporcionam um controle dos óxidos, além de modificar a morfologia das inclusões, mantendo as outras características de utilização destes aços inalteradas.

- Segundo Capuccio et al (1996) há três pontos fundamentais desta tecnologia metalúrgica:
- Converter as inclusões de silicatos e aluminas em inclusões mais brandas, arredondadas e que sejam líquidas a temperatura de corrida (aproximadamente 1600°C).
 - Controlar a composição das inclusões de óxidos, afim de que permaneçam em estado viscoso devido as altas temperaturas desenvolvidas durante a usinagem.
 - Formação de uma camada de sulfeto de manganês recobrando as inclusões dos óxidos formados. Como esta camada é muito mais macia que os óxidos, ela evita a abrasividade dos mesmos.

As inclusões formadas, nos aços tratados com cálcio, podem ser a anorthita ($\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) no caso dos aços desoxidados com silício/manganês, ou a gehlenita ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) e inclusões duplex aluminato de cálcio/sulfeto de cálcio que são formadas nos aços desoxidados com o alumínio (Metals Handbook, 1989). Tanto a anorthita como a gehlenita têm susceptibilidade de reagir com o enxofre presente no aço, formando, assim, uma inclusão final de óxido, rodeado por uma fina camada de (Mn, Ca)S, e de inclusões duplex de aluminato de cálcio/sulfeto de cálcio nos aços desoxidados com alumínio (Subramaniam and Kay, 1988). Com isto a abrasividade das inclusões é diminuída e é conseguida uma sensível melhora na usinabilidade.

Devido as altas temperaturas desenvolvidas na interface cavaco-ferramenta durante a usinagem, os óxidos de cálcio se amolecem sobre a superfície da ferramenta e com isto proporcionam a redução do desgaste através da cobertura da mesma (Mori et al, 1988). Porém a adesão destes óxidos à superfície da ferramenta se deve a sua afinidade química com os elementos presentes na ferramenta e a plasticidade dos óxidos. Segundo Bhattacharya (1988), acredita-se que, em ferramentas de metal duro contendo Ti, ocorrem ligações químicas entre o Ti e as inclusões de óxidos, promovendo um decréscimo no desgaste da ferramenta através da barreira formada. A formação da camada protetora tem sido observada sobre ferramentas contendo TiC e TiN, enquanto que em ferramentas de metal duro consistindo somente de WC e Co são encontrados somente traços da camada (Hellistö et al, 1988).

Em alguns casos pode ocorrer até um aumento no desgaste da ferramenta devido a dissolução que pode ocorrer no caso de uma combinação desfavorável do material da ferramenta e a composição das inclusões (Nordgren and Melander, 1988).

Este trabalho compara a usinabilidade de um aço para matrizes de injeção de plástico convencional com outro aço da mesma classe que teve o tratamento com o cálcio. Trata-se de fresamento de topo de canais, utilizando ferramentas de metal duro revestida. Consideraram-se a vida da ferramenta e a potência consumida durante os ensaios.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O material utilizado nos ensaios foi um aço Cr-Ni-Mo, fornecido pela Villares Metals no estado temperado e revenido na faixa de 34 HRC, cuja composição química é mostrada na “Tabela 1”. Os dois materiais utilizados, denominados pelo fabricante de VP20 e VP20-UF, têm a mesma composição química, sendo que o primeiro recebeu tratamento de desoxidação convencional e o segundo foi tratado ao cálcio.

Tabela 1. Composição química do aço

Elem. químico	C	Mn	Cr	Mo	Ni
Teor (%)	0,36	1,30	1,80	0,20	1,00

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 revestidas com TiN foram R215.44-09 02 08M-WH 4030 (P25).

Os blocos de aço foram utilizados inicialmente com as dimensões mostradas na “Fig. 1”, e os canais foram feitos no sentido da maior dimensão do mesmo. A cada dez canais a superfície do bloco foi aplainada com uma fresa frontal para que não houvesse qualquer tipo de interferência (rebarbas) dos canais anteriormente usinados sobre a superfície da ferramenta.

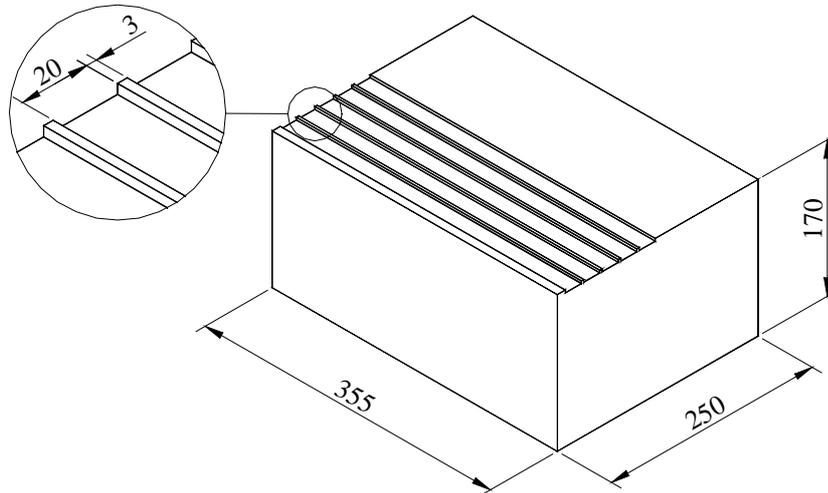


Figura 1. Dimensões do bloco utilizado.

Os ensaios foram realizados no LEPU – Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem – da Universidade Federal de Uberlândia, numa 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.).

As condições de corte utilizadas foram obtidas aleatoriamente por um programa computacional a partir da faixa de velocidade de corte, profundidade de corte e avanço indicados pelo fabricante das ferramentas. Os valores de entrada e saída do programa são mostrados nas “Tabelas 2 e 3”, respectivamente.

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

	Mín.	Máx.
Vc (m/min)	120	220
A _p (mm)	1,0	3,0
fz (mm/dente)	0,075	0,15

Tabela 3. Condições de corte fornecidas pelo programa.

	Vc	ap	fz
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

Os dois materiais foram usinados nas quatro condições da “Tabela 3”, e durante as condições 03 e 04 (nos dois materiais) foi medida a potência média efetiva consumida através de um medidor de corrente elétrica do tipo Hall acoplado a um microcomputador AT386.

O desgaste de flanco VB observado foi medido num microscópio ferramenteiro desenvolvido no LEPU – UFU. Os dois materiais foram usinados nas quatro condições de corte até que a ferramenta atingisse o final de vida, usando um critério de fim de vida $VB_B = 0,4$ mm.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os gráficos 01, 02, 03 e 04 da “Fig. 2” mostram o desgaste das ferramentas durante a vida, as condições de corte 01, 02, 03 e 04 respectivamente.

A “Fig. 3” apresenta os resultados na forma de volume de material removido para as quatro condições.

Os gráficos da “Fig. 4” mostram a potência efetiva média consumida durante a usinagem dos dois materiais nas condições 03 e 04 respectivamente.

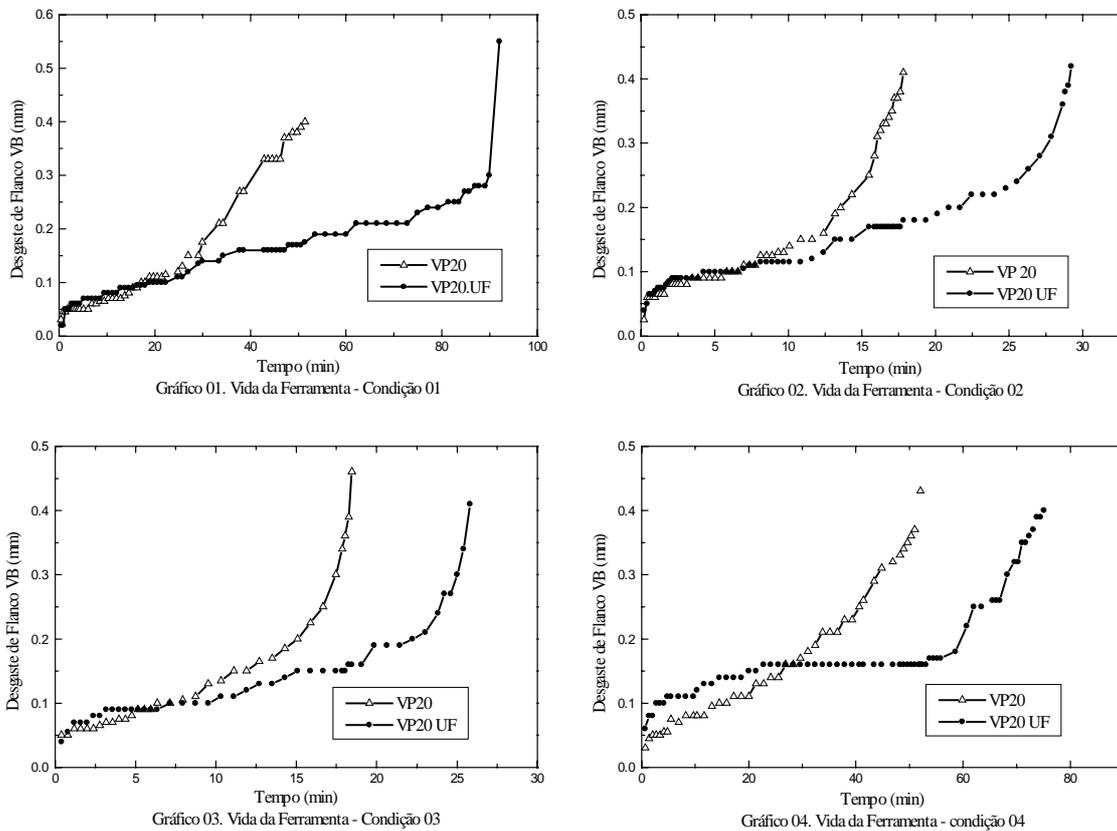


Figura 2. Curvas de desgaste obtidas nas 4 condições de corte utilizadas.

Como pode ser observado nas figuras., o aço VP20-UF mostrou-se superior ao VP20 em todas condições de corte utilizadas, possibilitando sempre uma vida maior. Pode-se observar que no início dos ensaios ele (VP20 UF) proporciona um desgaste mais acentuado, estabilizando-se em seguida, quando é ultrapassado pelo VP20 e então se mantém com desgaste bem inferior até o final de vida das ferramentas. O volume de material removido foi de 40,79 % superior na condição 03 chegando até 76,67 % a mais na condição 01, quando usinando com o aço tratado ao cálcio em comparação com o aço não tratado. Na condição de

corde 01, mostrada no gráfico 01 da “Fig. 2”, a curva de vida do VP20 UF apresentou um aumento repentino no desgaste, no final de vida, devido a um lascamento da aresta cortante.

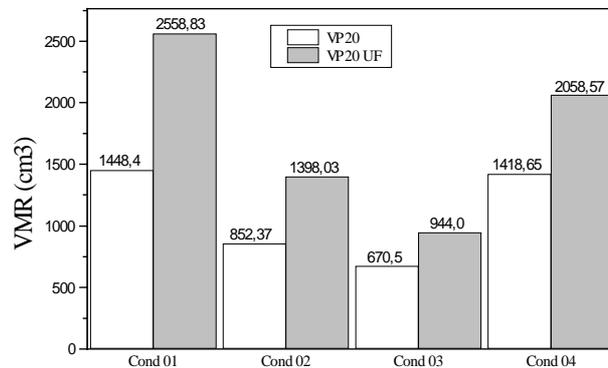


Figura 3. Volume de material removido no fresamento dos materiais VP20 e VP20 UF.

Acredita-se que em todas as condições de corte houve a formação da camada de óxido protetora durante a usinagem do VP20 UF devido aos valores de velocidades de corte utilizados serem sempre relativamente altos, sempre superiores a 100 m/min (valor mínimo utilizado $V_c=123\text{m/min}$, como mostrado na “Tabela 3”) com isto gerando temperaturas suficientemente altas para formação da mesma, pois os resultados apresentados foram sempre superiores para o VP20 UF, alcançando sempre uma vida da ferramenta mais longa. A taxa de desgaste inicial maior para o VP20 UF pode ser devido a camada protetora sobre a superfície da ferramenta ainda não ter se formado apropriadamente. Conforme destacado por Bhattacharya (1988) e Hellistö et al (1988) esta camada protetora depende da afinidade com o material da ferramenta, necessitando de disponibilidade de Ti. Os resultados, portanto, indicam que só com o desenvolvimento inicial do desgaste que este elemento estaria mais disponível para se combinar com as inclusões de óxidos e facilitar a formação da camada protetora. Possivelmente porque as temperaturas seriam mais elevadas e/ou as camadas de revestimento estariam sendo eliminadas, tendendo expor o substrato.

Outro fator que, provavelmente, contribuiu para os melhores resultados do VP20 UF é que os óxidos presentes neste material são menos abrasivos e também devido a sua morfologia, fatores estes conseguidos pelo tratamento do aço com o cálcio.

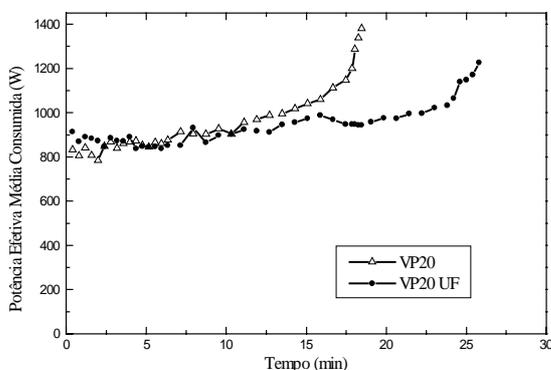


Gráfico 05. Potência Consumida - Condição 03

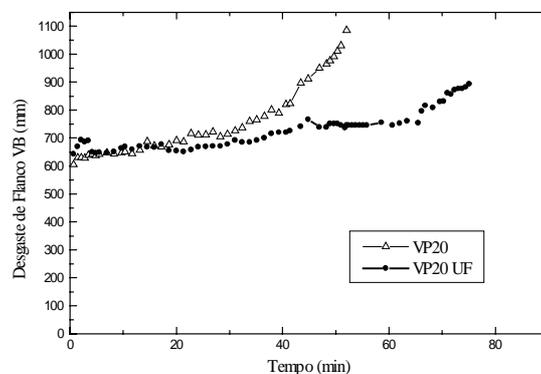


Gráfico 06. Potência Consumida - Condição 04

Figura 4. Potência consumida durante os testes nas condições 03 e 04.

A potência efetiva média consumida na usinagem do aço VP20 UF permaneceu em níveis inferiores quando comparado ao VP20.

As curvas de potência apresentadas nos gráficos 05 e 06 da “Fig. 4” mostram que o consumo de potência, inicialmente é ligeiramente favorável ao material VP20. Com o decorrer do ensaio existe a tendência de crescimento do consumo de potência, devido ao crescimento do desgaste das ferramentas. Como o desgaste foi mais acelerado na usinagem do VP20 a curva de potência referente a este material cresce também mais rapidamente do que na usinagem do VP20 UF.

Verifica-se portanto, que neste experimento fica difícil observar o efeito do cálcio no favorecimento à redução do consumo de potência, mas é nítida a sua influência sobre o desgaste e vida das ferramentas de corte.

4. CONCLUSÕES:

Com base nos resultados obtidos nos ensaios práticos, pode-se concluir que:

- O aço VP20 UF se mostrou superior ao VP20 em termos de vida da ferramenta.
- A potência efetiva média consumida durante a usinagem do VP20 foi inicialmente menor do que a do VP20 UF, mas devido ao crescimento do desgaste os resultados se inverteram.
- O tratamento ao cálcio desses materiais se mostrou eficiente, devendo ser fortemente recomendados, por não prejudicar as principais propriedades do aço.

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.
- ASM International, 1989, Metals Handbook, 9th Edition, Vol 16, Machining, USA.
- Becker, H. J.; Harbeling, E.; Otter, P. – “Properties of Calcium-Treated Plastic Mould Steels” Thyssen Edelst. Techn. Ber., 1990.
- 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.
- Davies, I. G.; Finch, N. A.; Pickett, M. L. – “Developments and Applications of Alloy and Stainless Steels with Improved Machinability”, First International Conference on the Behaviour of Materials in Machining, November 1988.
- Engel, 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.
- Helistö, P.; Helle, A. S.; Pietikäinen, J., - “Interface Phenomena Between Oxide Layers and Cemented Carbide Tools”, ”, First International Conference on the Behaviour of Materials in Machining, November 1988.
- Kankaanpää, H.; Pöntinen, H.; Korhonen, A. S., - “Machinability of Calcium Treated Steels Using TiN Coated High Speed Steel Tools”, Materials Science and Technology, vol.3, February 1987.

- 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.
- Nordgren, A.; Melander, A., - “Tool Wear and Inclusion Behavior During Turning of a Ca-Treated Quenched and Tempered Steel Using Coated Cemented Carbide Tools”, First International Conference on the Behaviour of Materials in Machining, November 1988.
- Ramanujachar, K. Subramanian, S. V., - “Micromechanisms of Tool Wear in Machining Free Cutting Steels”, *Wear* 197 (1996) 45-55.
- Subramanian, S.V.; Key, D. A. R., - “Inclusion Engineering for the Improved Machinability of Medium Carbon Steels”, First International Conference on the Behaviour of Materials in Machining, November 1988.
- 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.
- Yamane, Y.; Hayashi, K.; Narutaki, N. – “Free Cutting Cast Irons Based on Non-Metallic Inclusions”, Second International Conference on the Behaviour of Materials in Machining, November 1991.

MACHINABILITY OF THE PLASTIC INJECTION MOLD STEELS

Abstract. *Machinability of a calcium treated plastic injection mold steel was evaluated and compared to a similar conventional plastic injection mold steel, during of end milling (canals) with TiN coated cemented carbide tools. Calcium treatment provides a morphology control of the hard and abrasive alumina and silicon inclusions present in every steel owing to conventional deoxidization process with aluminum or silicon, calcium changes them to a softer and rounded inclusions, besides controlling the composition of the oxide inclusions, making them to stay in a viscous state due to high temperatures reached at the chip-tool interface during machining. The tests showed a tool life increasing up 76 % when using the calcium treated steel when compared to the conventional steel.*

Key words: *Machinability, End milling, Mold steels, Calcium treated mold steels, Oxide inclusions.*