

USINABILIDADE DOS AÇOS VP100 PARA MOLDES DE INJEÇÃO DE PLÁSTICO CONSIDERANDO AS FORÇAS DE CORTE NO TORNEAMENTO

Mauro Araújo Medeiros, Medeiros_mauro6@yahoo.com.br¹
Flávia Cristina Sousa e Silva, flavia_cris11@hotmail.com²
Frederico Mariano Aguiar, marianoaguiar@gmail.com²
Álison Rocha Machado, alissonrm@mecanica.ufu.br²
Márcio Bacci da Silva, mbacci@mecanica.ufu.br²
Celso Antônio Barbosa, celsobarbosa@villaresmetals.com.br³

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Avenida Getúlio Vargas, 004, Monte Castelo, CEP: 65.020-300, São Luís, MA - Brasil

²Universidade Federal de Uberlândia, Avenida João Naves de Ávila, 2121, bloco 10, CEP: 38.408-902, Uberlândia, MG – Brasil

³Villares Metals S.A., Rua Alfredo Dumont Villares, 155, CEP: 13.178-902, Sumaré, SP - Brasil

Resumo: Durante a fabricação de um molde, a usinagem é certamente o principal processo. A composição necessária para se obter propriedades importantes nos aços utilizados, como dureza, resistência ao desgaste e à corrosão, resultam em uma baixa usinabilidade e altas forças de corte e potência consumida. Este trabalho tem como objetivo avaliar a usinabilidade de três diferentes aços para moldes (VP 100 com 270 e 350 ppm de Ti e VP 20 ISO) utilizados na fabricação de moldes para injeção de plástico, através da medição das forças de corte geradas no processo de torneamento. Os aços VP 100 com 270 e 350 ppm de Ti possuem dureza superior ao aço VP 20 ISO, sendo este último o mais empregado na indústria de moldes de injeção de plástico e foi utilizado como base para comparação. Os resultados mostram que existe uma diferença significativa nas forças de corte e, conseqüentemente, na usinabilidade entre esses três materiais.

Palavras-chave: Usinabilidade, aços para moldes de injeção de plástico, força de usinagem, torneamento

1. INTRODUÇÃO

A indústria de moldes de injeção de plástico se constitui em um setor crescente devido à grande utilização de peças plásticas em outros setores da indústria. Esses moldes são fabricados a partir de barras de aço fundidas e laminadas, cujas cavidades são geradas através de operações de usinagem que representam a maior parte do tempo de manufatura e do custo final do molde. O aço tem mais influência no custo total do molde devido à sua usinabilidade do que através do custo do material bruto. Por esta razão, a otimização das condições de usinagem é uma condição chave para se reduzir os custos de um molde (Rech, Calvez e Dessoly, 2004).

A usinabilidade é geralmente definida em termos de força, potência consumida, desgaste da ferramenta, acabamento e integridade da superfície final. Logo, um material com boa usinabilidade geralmente apresenta baixo consumo de potência durante a usinagem, bem como uma pequena taxa de desgaste e bom acabamento final (Kalpakjian, 1985). O tipo de superfícies geradas a partir da usinagem e suas características são de grande importância na fabricação. No processo de torneamento é possível se obter superfícies com a qualidade desejada a partir da seleção dos parâmetros de corte apropriados (Dan e Mathew, 1990).

O aperfeiçoamento das variáveis de resposta como vida da ferramenta, forças de corte, rugosidade da superfície podem resultar numa melhora significativa dos custos nas operações de usinagem através da otimização dos parâmetros de corte, tais como avanço, velocidade de corte e profundidade de corte (Armarego, 1994).

2. AÇOS PARA MOLDES DE INJEÇÃO DE PLÁSTICO

Algumas peças de plástico são produzidas em séries, em ciclos muito curtos, usando moldes com muitas cavidades. Outras possuem grande tamanho e são fabricadas em menores escalas e ciclos maiores. Independente do tipo de

produção, um molde para ser usado na injeção de plásticos precisa estar em perfeitas condições de uso. Para adquirir bons resultados, moldes com boa qualidade devem ser usados, uma vez que qualquer imperfeição será reproduzida na peça plástica. Uma importante decisão para se obter um bom molde é selecionar um aço apropriado para a aplicação. Na indústria brasileira de moldes, o aço mais utilizado é o AISI P20, que é uma liga de aço-cromo-molibdênio. Este material é classificado como um aço ferramenta, utilizado para fabricação de moldes de injeção de plástico, matrizes de extrusão, moldes de sopro, ferramentas de perfilar e outros componentes estruturais (Abou-El-Hossein et al, 2007). O aço VP 20 ISO, utilizado neste trabalho, que é fornecido com uma dureza em torno de 30 e 34 HRC, possui uma melhora na usinabilidade em relação ao padrão AISI P20. Ensaios provam que a vida da ferramenta na usinagem de um VP 20 ISO é cerca de 30% maior do que a do padrão AISI P20 (Revista Plástico Moderno, 2009). Isso significa um ganho de mais de 77% em volume de material removido por ferramenta.

A dureza do material é uma propriedade importante a ser levada em conta na seleção de um aço. Os aços com dureza na faixa de 38 a 42 HRC são indicados para moldes que requerem mais resistência. Durezas maiores implicam numa melhora na polibilidade do aço. Bons níveis de polibilidade permitem a obtenção de moldes para peças plásticas que necessitam ser translúcidas. É o caso de lentes de faróis e lanternas de carros, que devem ter uma transparência tão elevada como a obtida com vidro.

O VP100 é um aço desenvolvido com elementos microligantes, como titânio e vanádio, que pode ser endurecido em condições de resfriamento diferentes da têmpera tradicional apresentando dureza homogênea da superfície para o núcleo do bloco com dimensões de até 400x 1200mm² de secção. O menor uso de elementos de liga no aço VP100, como por exemplo, o baixo teor de cromo, contribui para a diminuição dos custos de fabricação do mesmo, aumentando sua competitividade. A sua concepção não emprega altas taxas de resfriamento, levando a uma considerável redução das tensões residuais. Além destas características, o fato deste aço possuir teor de carbono menor que os aços tradicionais, faz com que, após aplicação de solda, apresente o ajuste por usinagem facilitado, devido à menor dureza gerada. Para usiná-lo recomenda-se menores velocidades de corte e maiores avanços, sendo seu comportamento, nos processos de texturização e polimento, semelhante ao dos aços tradicionais como, por exemplo, o VP 20 ISO (Mesquita, 2009).

A comparação de propriedades é importante durante a seleção do material do molde. A escolha é feita de acordo com o grau de abrasão do plástico a ser injetado, da aparência da peça solicitada e da resistência desejada da ferramenta (Pinedo e Barbosa, 1995).

Este trabalho tem como objetivo comparar a usinabilidade dos aços VP 100 com 270 e 350 ppm de Ti e VP 20 ISO usados na fabricação de moldes de injeção de plástico. A usinabilidade, neste caso, é expressa pelas componentes da força de usinagem medidas durante o processo de torneamento com ferramentas de metal duro.

3. MATERIAIS E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Nos testes, foram utilizados os três diferentes tipos de aços supra citados sob a forma de barras cilíndricas com diâmetro de 100 mm, cuja montagem no torno cnc é apresentada na Fig.(1).

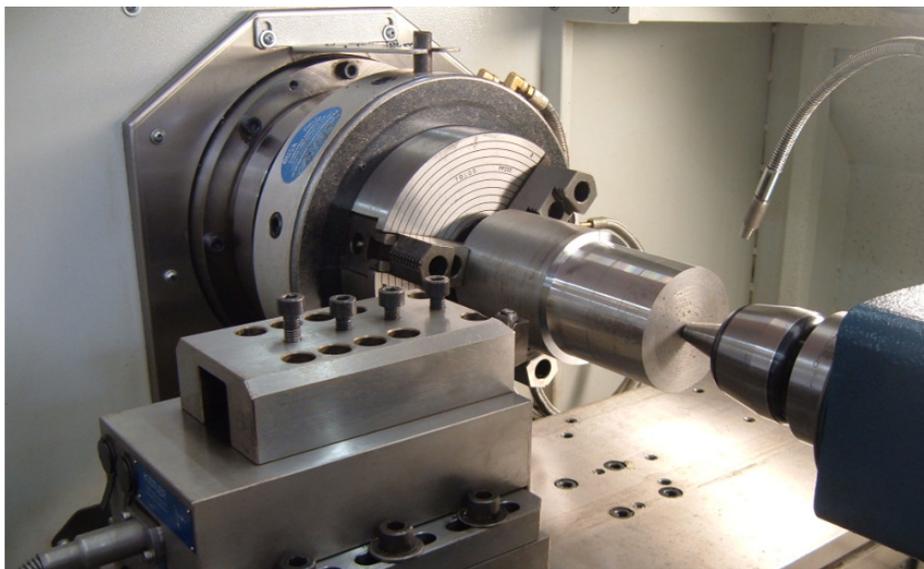


Figura 1. Montagem da barra cilíndrica do aço VP100 no torno cnc.

A Tab.(1) apresenta a dureza média dos três materiais, onde é possível observar que a dureza média do aço VP 20 ISO é menor do que a dureza média do VP 100 com 270 ppm de Ti, que por sua vez, é menor que a do VP 100 com 350 ppm de Ti.

Tabela 1. Resultados do ensaio de dureza Rockwell C.

Ensaio de Dureza Rockwell C					
Durômetro Universal Wolpert - Carga: 150 Kg					
VP20	HRC	VP100 270 ppm Ti	HRC	VP100 350 ppm Ti	HRC
Dureza Média	29	Dureza Média	30	Dureza Média	33
Desvio Padrão	1,12	Desvio Padrão	1,6	Desvio Padrão	1,5

A fim de verificar o efeito de cada parâmetro de corte e a interação entre eles (Box e Hunter, 1978), utilizou-se um planejamento fatorial 2^k . Os parâmetros de corte analisados, ou variáveis independentes, em termos estatísticos, foram velocidade de corte, avanço, profundidade de corte e material da peça. A Tabela (2) mostra os níveis dos parâmetros considerados.

Tabela 2. Níveis das variáveis independentes.

Fatores	Nível	
	-1	+1
Velocidade de Corte (m/min)	100	200
Avanço (mm/rev)	0.1	0.2
Profundidade de Corte (mm)	1	2
Material (1)	VP 20 ISO	VP100 270
Material (2)	VP 20 ISO	VP100 350
Material (3)	VP100 270	VP100 350

O uso de quatro variáveis de entrada resultou em um planejamento fatorial 2^4 com dezesseis testes para cada condição de corte, como mostrado na Tab. (3). Foram feitas duas réplicas para cada condição, totalizando 48 testes. Esta metodologia foi repetida para cada combinação de materiais (1), (2) e (3) da Tab. (2).

Tabela 3. Condições dos testes de acordo com o planejamento fatorial 2^4 .

Teste	Velocidade de Corte (m/min)	Avanço (mm/rev)	Profundidade de Corte (mm)	Material
1	100	0.1	1	-1
2	200	0.1	1	-1
3	100	0.2	1	-1
4	200	0.2	1	-1
5	100	0.1	2	-1
6	200	0.1	2	-1
7	100	0.2	2	-1
8	200	0.2	2	-1
9	100	0.1	1	+1
10	200	0.1	1	+1
11	100	0.2	1	+1
12	200	0.2	1	+1
13	100	0.1	2	+1
14	200	0.1	2	+1
15	100	0.2	2	+1
16	200	0.2	2	+1

Foi utilizado um dinamômetro tridimensional, Kistler 9265-B para a medição da força de corte F_c , da força de avanço F_f e da força passiva F_p , que são as componentes da força de usinagem F_u , sendo que, na plataforma piezométrica elas coincidem com F_z , F_x e F_y respectivamente. Um sistema de aquisição de sinais e um computador monitoraram o sistema com uma taxa de aquisição de 1000 Hz durante um período de 7 segundos em cada teste. A Figura (2) mostra o esquema da montagem experimental.

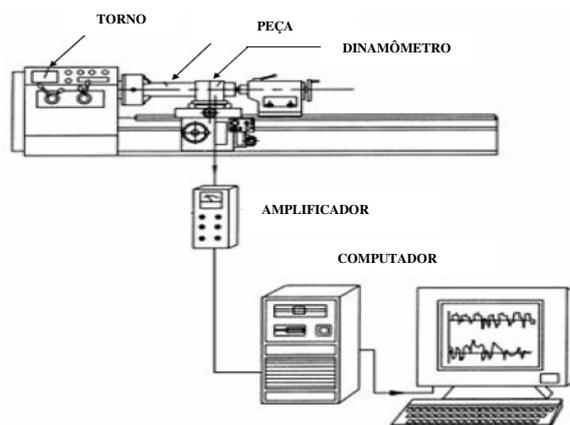


Figura 2. Esquema da montagem experimental.

O torno utilizado foi um Multiplic 35 D, com 11 kW de potência, velocidade do eixo variável entre 3 a 3000 rpm e controle GE Fanuc Series 21i – TB CNC. As ferramentas utilizadas foram insertos de metal duro com especificação ISO SNMG 120404 – PM 4235 e suporte com especificação DSBNR 2525 M 12. Os testes foram realizados sem a utilização de fluido de corte.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para mostrar os efeitos das variáveis independentes na força de corte foi feito um gráfico de Pareto apresentado na Fig. (3).

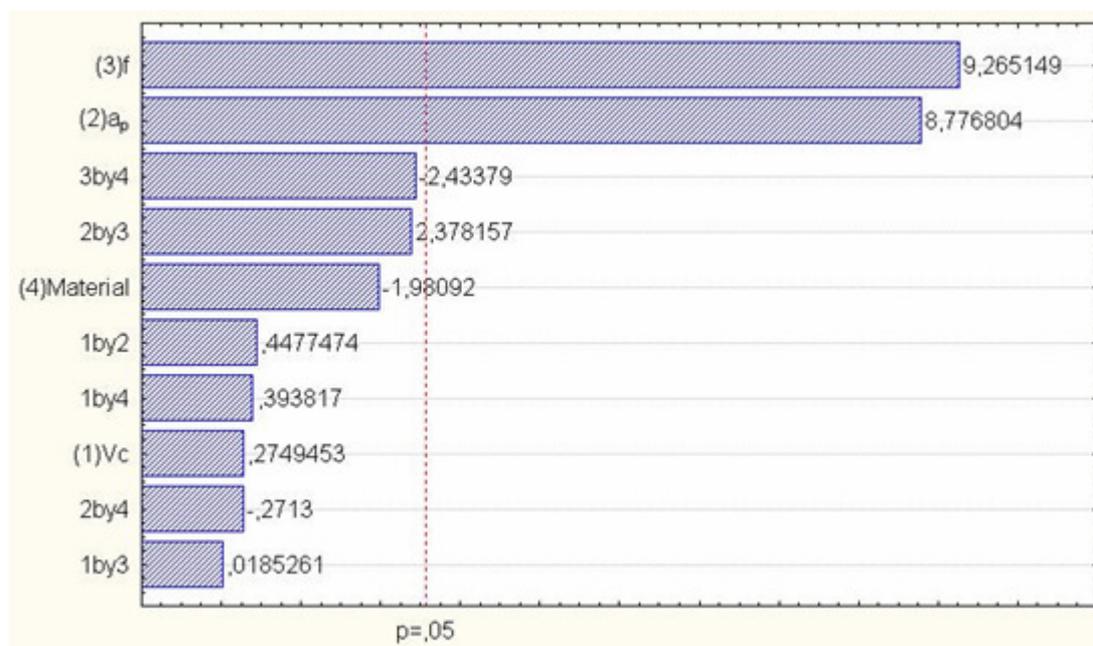


Figura 3. Efeitos estimados para força de corte (Fc) na comparação entre os aços VP100 com 270 e VP100 com 350 ppm de Ti.

De acordo com o gráfico de Pareto, os materiais não tiveram influência significativa na força de corte. Com respeito às condições de corte, foi observado no gráfico que os parâmetros significativos foram avanço e profundidade de corte. O efeito da velocidade de corte foi observado como influência negativa devido à maior quantidade de calor retida na raiz do cavaco e conseqüente aumento da temperatura nesta região (Machado et al, 2009).

Os resultados referentes à força de corte nos ensaios de torneamento aplicados aos três aços nas oito condições de corte diferentes da Tab. (4), são apresentados na Fig. (4), onde é possível estabelecer um contraste entre o comportamento dos três aços para cada uma das oito condições de corte.

Tabela 4. Condições de usinagem referentes ao gráfico das figuras 4, 5 e 6.

Condições de Usinagem								Unidade
1	2	3	4	5	6	7	8	
V _c =100	V _c =200	V _c =100	V _c =200	V _c =200	V _c =100	V _c =100	V _c =200	m/min
f=0,1	f=0,1	f=0,2	f=0,2	f=0,1	f=0,1	f=0,2	f=0,2	mm/rev
a _p =1	a _p =1	a _p =1	a _p =1	a _p =2	a _p =2	a _p =2	a _p =2	mm

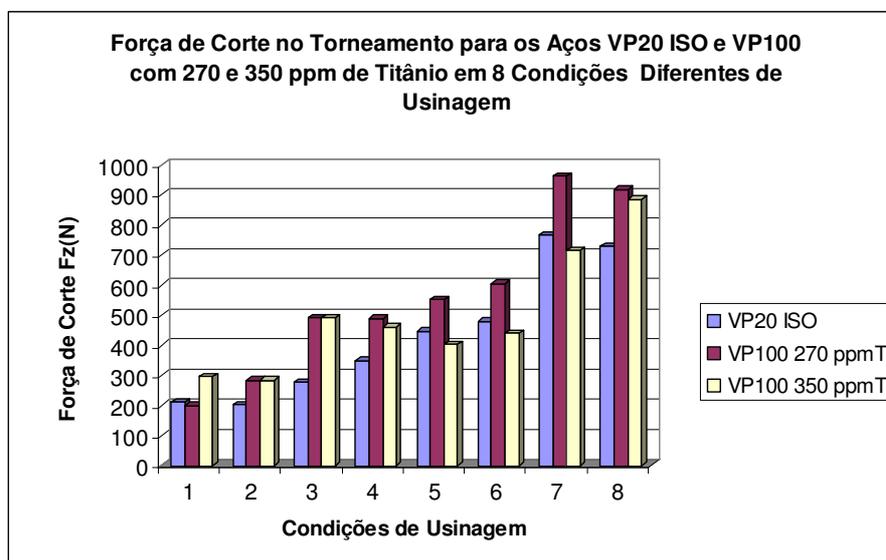


Figura 4. Força de corte no Torneamento em função de oito condições de usinagem diferentes para os aços VP 20 ISO e VP 100 com 270 e 350 ppm de Ti.

No caso das condições 1 e 2, observa-se que estas apresentaram os menores valores de força para os três aços, certamente por se tratarem das condições mais brandas aplicadas. Nesse caso, é possível perceber uma ligeira queda nos valores da força para o VP 20 ISO e para o VP 100 com 350 ppm de titânio na condição 2, provavelmente causado pelo amaciamento térmico conseqüente ao aumento da velocidade de corte de 100 na condição 1 para 200m/min na condição 2. Entretanto, o VP 100 com 270 ppm de titânio, se comportou de forma diferenciada nessas mesmas condições contrariando a tendência natural do fenômeno. Ainda na condição 1, o valor da força do VP 20 ISO foi ligeiramente superior ao VP 100 com 270 ppm de titânio e consideravelmente inferior ao VP 100 com 350 ppm de titânio.

A tendência do aço VP 20 ISO apresentar valores das componentes da força de usinagem menores que as observadas para os aços VP 100, pode ter como um dos fatores principais, o fato do aço VP 20 ISO possuir níveis reduzidos de inclusões, cujas adições de cálcio promove a modificação do tipo e morfologia destas inclusões, proporcionando um aumento da usinabilidade, reduzindo o efeito danoso das inclusões duras de alumina e silicatos, formando inclusões ternárias do tipo $Al_2O_3-SiO_2-CaO$. Ocorre ainda a formação de sulfeto de cálcio na superfície das inclusões minimizando o efeito abrasivo destas sobre a aresta da ferramenta de corte. O resultado conjunto desses fatores gera a melhoria de usinabilidade (Revista O Mundo da Usinagem, 2003).

Em contra partida, os aços VP 100 são desenvolvidos com elementos microligantes, que induzem a formação de uma microestrutura de bainita inferior, cuja dureza é homogênea da superfície para o núcleo do bloco (Mesquita, R.A., 2009), além da presença de carbonitreto de titânio em sua microestrutura (Gomes e Zanatta, 2008), fator que, certamente, influencia o comportamento observado.

O aço VP 20 ISO apresentou valores de força de corte menores que os do VP 100 com 270 ppm de titânio e maiores que os do VP 100 com 350 ppm de titânio nas condições 5 a 7. Observa-se ainda que, nas condições 4 a 8, o VP 100 com 270 ppm de titânio apresentou forças de corte superiores às do VP 100 com 350 ppm de titânio. Uma justificativa plausível para tais fenômenos requer uma análise mais acurada das propriedades microestruturais e mecânicas dos materiais investigados a fim de se diagnosticar possíveis influências das mesmas nesse comportamento.

Com relação à influência dos parâmetros da Tab. (4), observa-se que tanto o avanço quanto a profundidade de corte afetam significativamente o aumento da força de corte, o que pode ser observado nas condições 3 a 8, onde as condições 7 e 8 são as mais críticas por agregarem os maiores valores de avanço e de profundidade de corte.

O comportamento das forças de avanço e passiva segue uma tendência parecida à da força de corte como pode ser observado nas Fig. (5) e Fig. (6).

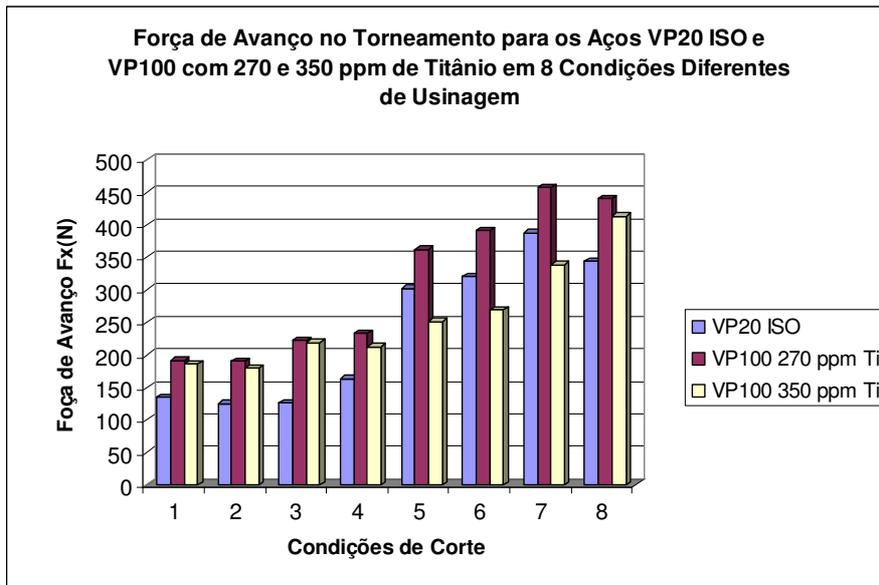


Figura 5. Força de avanço no Torneamento em função de oito condições de usinagem diferentes para os aços VP20 ISO e VP100 com 270 e 350 ppm de Ti.

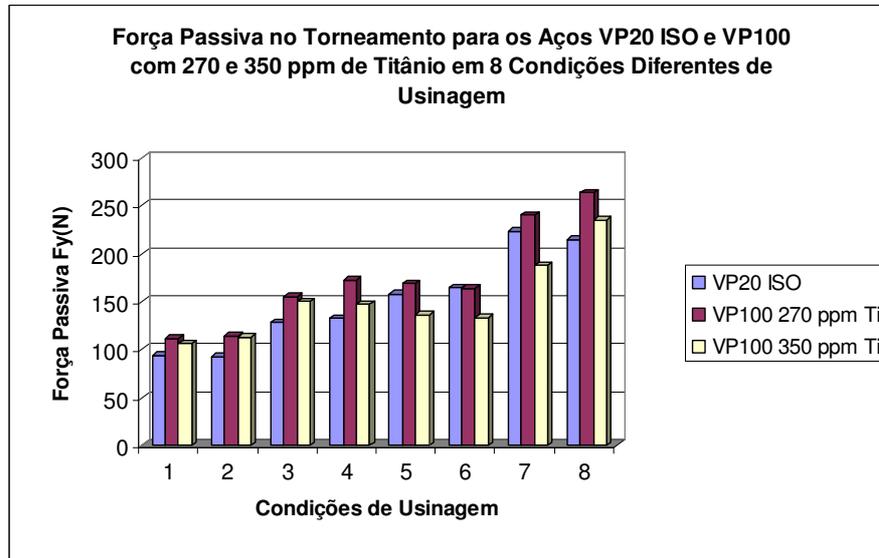


Figura 6. Força passiva no Torneamento em função de oito condições de usinagem diferentes para os aços VP20 ISO e VP100 com 270 e 350 ppm de Ti.

Os gráficos das Fig. (5) e Fig. (6) demonstram que os valores das forças de avanço e passiva são menores que as forças de corte, fato esperado para o comportamento desses fenômenos, considerando-se a relação entre essas três forças em operações de torneamento. A Figura (7) demonstra a representação destas componentes, segundo a norma DIN 6584 (Ferraresi, 1977). Todas estas três componentes de F_u podem ser determinadas prontamente, com o auxílio de um dinamômetro, pois suas direções são claramente conhecidas.

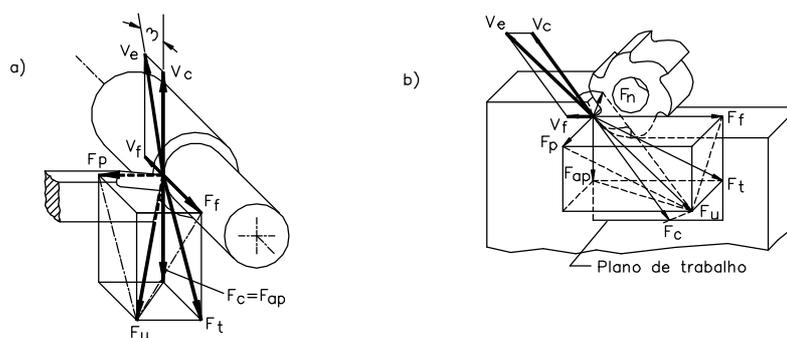


Figura 7. Componentes da Força de Usinagem. a) no torneamento; b) no fresamento (Ferraresi, 1977).

Na Figura (7) é possível observar que a força passiva F_p aparece com uma terceira componente da força de usinagem F_u juntamente com a força de corte F_c e de avanço F_f . Ainda na Fig. (7), além das componentes F_c e F_f , aparecem também as componentes F_t força ativa e F_{ap} força de apoio, onde é possível observar, vetorialmente, as diferenças de intensidade entre as forças. No caso do torneamento o ângulo da direção de avanço ϕ é igual a 90° e, por isso, a força F_{ap} confunde-se com F_c (Ferraresi, 1977).

Os principais fatores que influenciam a força de usinagem são as áreas dos planos de cisalhamento primário e secundário e a resistência ao cisalhamento do material da peça, nesses planos. Sendo assim, qualquer parâmetro pode ser analisado, com base nos seus efeitos sobre estes dois fatores principais, onde muitos deles vão atuar nos dois fatores e os resultados vão depender da predominância de um sobre o outro (Machado et. al., 2009).

Com base nessas premissas, aumentando-se a velocidade de corte a força de usinagem tende a sofrer uma ligeira redução pela maior geração de calor e conseqüente redução da resistência ao cisalhamento do material nas zonas de cisalhamento, bem como pela ligeira redução na área de contato cavaco-ferramenta, sendo que para valores bem altos de velocidades de corte o comportamento da força se torna praticamente constante.

O aumento do avanço e da profundidade de corte leva a um aumento das áreas dos planos de cisalhamento primário e secundário, gerando um aumento da força de usinagem, numa proporção direta. Entretanto, o efeito do avanço tende a ser maior que o da profundidade de corte (Machado et. al., 2009).

5. CONCLUSÕES

- O efeito do material nas forças de corte não foi significativo do ponto de vista estatístico;
- O avanço e a profundidade de corte foram as variáveis mais influentes nas forças de usinagem observadas;
- A velocidade de corte mostra um efeito negativo nas forças de corte, como esperado;
- Aço VP 100 com 350 ppm de Ti apresentou forças de usinagem no torneamento menores que o VP 20 ISO em três das oito condições testadas, cujos motivos para tal fenômeno devem ser investigados em estudos posteriores.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES, CNPq e FAPEMIG, pelo apoio financeiro e à Villares Metals S.A. pelo fornecimento dos materiais para esta pesquisa.

7. REFERÊNCIAS

- Abou-El-Hosseini, K.A., Kadrigama, K., Hamdi, M., Benyounis, K.Y., 2007, "Prediction of cutting force in end-milling operation of modified AISI P20 tool steel", *Journal of Materials Processing Technology*, 182, pp. 241–247.
- Armarego, E. J. A., 1994, "Machining Performance Predictions for Modern Manufacturing", *Proceedings of the Seventh International Conference on Production and Precision Engineering and Fourth International Conference on High Technology*, Chiba, Japan, p. k52.
- Box, G. E., Hunter, J. S., 1978, "Statistics for Experiments", USA.
- Dan, L., Mathew, J., 1990, "Tool Wear and Failure Monitoring Techniques for Turning", *Int. J. Mach. Tool Manufact.*, 30(4), pp. 579-598.
- Ferraresi, D., 1977, "Fundamentos da Usinagem dos Metais", Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 751 pags.
- Gomes, J.; Zanatta, A. M., 2008, "Análise Comparativa da Usinabilidade do Aço VP100 comercial", Relatório Técnico - Projeto Villares Metals, São José dos Campos, SP, Novembro.
- Kalpakjian, S., 1985, "Manufacturing Processes for Engineering Materials", Addison – Wesley Publishing Company.
- Machado, A. R., Abrão, A. M., Coelho, R. T., da Silva, M. B., 2009, "Teoria da Usinagem dos Materiais", São Paulo, Editora Blucher.

- Mesquita, R. A., Barbosa, C. A., 2005, "40 HRC Plastic Mould Steels: Manufacturing Properties Considerations", Annals of 18th International Congress of Mechanical Engineering, COBEM, Brazil.
- Mesquita, R.A. Capuccio, G.V. Barbosa, C.A. Aço VP100 para moldes de conformação de termoplásticos, Revista CDestaque – Villares Metals, Sumaré – São Paulo, 33ª ed. Setembro de 2009.
- Pinedo, C. E., Barbosa, C. A., 1995, "Desenvolvimento de Aços Ferramenta Endurecíveis por Precipitação", Proceedings of 50º Congresso da ABM, São Pedro-SP, Brazil.
- Rech, J.; Le Calvez, C.; Dessoly, M. , 2004, "A new approach for the characterization of machinability – application to steels for plastic injection molds", Journal of Materials Processing Technology, 152, pp. 66 – 70.
- Revista O Mundo da Usinagem, 2003, Publicação trimestral da Divisão Coromant da Sandvik do Brasil S.A. ISSN 1518-6091 RG.BN 217.147 4ª Edição.
- Revista Plástico Moderno, 2009. Ed. nº 413, março.

8. DIREITOS AUTORAIS

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

MACHINABILITY OF VP100 STEELS FOR PLASTIC INJECTION MOULD CONSIDERING THE CUTTING FORCES IN TURNING

Mauro Araújo Medeiros, Medeiros_mauro6@yahoo.com.br¹
Flávia Cristina Sousa e Silva, flavia_cris11@hotmail.com²
Frederico Mariano Aguiar, marianoaguiar@gmail.com²
Álison Rocha Machado, alisonrm@mecanica.ufu.br²
Márcio Bacci da Silva, mbacci@mecanica.ufu.br²
Celso Antônio Barbosa, celsobarbosa@villaresmetals.com.br³

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Avenida Getúlio Vargas, 004, Monte Castelo, CEP: 65.020-300, São Luís, MA - Brasil

²Universidade Federal de Uberlândia, Avenida João Naves de Ávila, 2121, bloco 1O, CEP: 38.408-902, Uberlândia, MG – Brasil

³Villares Metals S.A., Rua Alfredo Dumont Villares, 155, CEP: 13.178-902, Sumaré, SP - Brasil

Abstract: *During manufacture of a mould, machining is certainly the most important process. The composition required to provide important properties in the steels used, such as hardness, wear and corrosion resistance, results in a low machinability and great cutting forces and high power consumption. This work aims evaluating the machinability of three different mould steels (VP 100 com 270 e 350 ppm de Ti e VP 20 ISO) applied in the manufacturing of plastic injection moulds, through measurements of the machining forces components generated in the process of turning under several cutting conditions. The VP 100 with 270 and 350 ppm of Ti steels are harder than VP 20 ISO. The latter is the most employed in manufacturing of plastic injection moulds and therefore will be the benchmark for comparison. The results showed that there are significant differences in the machining forces, and consequently in the machinability between the three materials.*

Keywords: *Machinability, steels for plastic injection mould, cutting force, turning*