

COMPARAÇÃO ENTRE FERRAMENTAS DE METAL DURO COM DIFERENTES GRANULOMETRIAS NO FRESAMENTO DE TOPO DO AÇO-FERRAMENTA VP ATLAS

Lucas Henrique Correia Pires

Álisson Rocha Machado

Deivson Alan Erzinger

Fábio Rüstow de Paula

Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR) R. Imaculada Conceição, 1155 - Prado Velho, Curitiba - PR, 80215-901
correia.pires@pucpr.edu.br, alisson.rocha@pucpr.br, deivson.alan@gmail.com, fabio.rustow@pucpr.edu.br

Resumo: A frequente demanda por novos produtos na indústria em geral e o avanço da tecnologia, principalmente na área automobilística, impulsionam as ferramentarias na fabricação de moldes para injeção de plástico e matrizes para extrusão de termoplásticos. A usinagem dos moldes é problemática, pois normalmente são materiais de elevada dureza que precisam resistir a grandes esforços mecânicos e térmicos nos processos de fabricação diariamente. Dessa forma, a escolha correta da ferramenta e das condições de corte é fundamental, se fazendo necessário o uso de uma ferramenta com maior dureza, resistência mecânica e boa combinação de propriedades para conseguir usinar o material. As condições de corte estão relacionadas com o acabamento superficial, a taxa de remoção de material, esforços mecânicos e de temperatura durante a usinagem. Essas condições podem implicar numa maior durabilidade da ferramenta de corte e qualidade do acabamento da peça usinada, por exemplo. O objetivo desse trabalho foi investigar o desempenho de duas ferramentas de corte de metal duro, uma sub-microgrãos - TMG30 (grãos entre 0,5 e 0,8 μm) e outra de grãos ultrafinos - TSF44 (grãos entre 0,2 e 0,5 μm), considerando a vida da ferramenta e a temperatura de usinagem no fresamento de topo do aço VP Atlas (38 - 42 HRC) usado para injeção e extrusão de termoplásticos. Os experimentos seguiram um planejamento fatorial de 2^3 , sendo as variáveis de entrada: velocidade de corte, avanço e material da ferramenta. As variáveis de saída foram a vida da ferramenta e a temperatura de corte. Nos testes de vida da ferramenta foi usado como critério de fim de vida o desgaste de flanco médio $VB_B = 0,3 \text{ mm}$. Para os testes de temperaturas, foram utilizados dois métodos de medição diferentes, câmera infravermelha e colagem de termopares do tipo T na superfície da peça. Os resultados mostraram que a ferramenta TMG30 apresentou maior tempo de vida, sendo de 15% a 70,7 % superior à ferramenta TSF44. Por outro lado, a ferramenta TMG30 obteve resultados de temperatura de 2 a 37% superiores a TSF44, exceto na condição de corte mais severa, de maior avanço e maior velocidade de corte, em que a ferramenta de grãos ultrafinos, TSF44, apresentou temperaturas 18,5% superiores à TMG30. A ferramenta TMG30 teve melhor resultado para a vida mesmo possuindo granulometria maior que a TSF44. Para o critério de temperatura, as duas ferramentas possuíram valores próximos, se fazendo necessária a realização de mais testes para diminuir a grande dispersão apresentadas em alguns testes.

Palavras-chave: Fresamento de topo; Aço VP Atlas; Ferramentas de metal duro sub-microgrãos; Vida da ferramenta; Temperatura de usinagem

1. INTRODUÇÃO

A frequente demanda por novos produtos na indústria em geral e o avanço da tecnologia, principalmente na área automobilística, impulsionam as ferramentarias na fabricação de moldes para injeção de plástico e matrizes para extrusão de termoplásticos cada vez mais resistentes e precisos. A indústria está sempre em busca de novas tecnologias e métodos que permitam reduzir custos com produção. Na usinagem, essa redução pode ser obtida através do desenvolvimento de máquinas mais modernas, novas geometrias e materiais de ferramentas de corte, além de novos revestimentos e melhores parâmetros de corte, aumentando a produtividade e gerando impacto direto na competitividade (SUAREZ, 2008).

Os aços utilizados para fabricação de moldes e matrizes são denominados aços-ferramenta. Para essa classe de aços é fundamental que possuam elevadas propriedades de resistência mecânica em altas temperaturas, com intuito de evitar falhas por fadiga térmica, deformação plástica, propagação de trincas e desgaste.

Dentre a grande gama de aços-ferramenta utilizada para a fabricação de moldes e matrizes encontra-se o VP Atlas. Trata-se de um aço ligado ao Cr-Mo-Mn e outras microadições, combinação esta que lhe proporciona ótimas características que são essenciais para injeção e extrusão de plásticos e termoplásticos. Segundo Villares Metals (2015), fabricante do aço, o VP Atlas tem como características principais: boa soldabilidade, excelente polibilidade e resposta a texturização, excelente nitretabilidade, alta uniformidade de dureza em toda a seção transversal da peça e alta reprodutividade de desempenho.

Os aços ferramentas são conhecidos por terem relativa baixa usinabilidade, quando comparados a outras ligas de aços. Isso se dá devido a sua alta dureza, que para o VP Atlas está entre 38 e 42 HRC, dependendo do ciclo de tratamento térmico. Esta faixa de dureza é necessária para garantir a integridade do molde ou matriz durante sua utilização.

O processo de fabricação por usinagem de um molde ou matriz pode ser realizado por um ou mais tipos de usinagem convencional ou não-convencional (MACHADO *et al.*, 2015). A usinagem convencional com ferramentas de geometria definida utiliza a energia mecânica para proporcionar o movimento necessário para o corte e podem ser divididas em duas principais operações: desbaste e acabamento. A operação de desbaste tem como principal objetivo a elevada taxa de remoção de material, enquanto a operação de acabamento presa pela qualidade final do componente usinado. Os principais processos convencionais de usinagem são torneamento, furação, fresamento, alargamento, rosqueamento etc. Todos estes processos possuem ainda extensas listas de subprocessos, oferecendo opções e versatilidade de fabricação. O fresamento, por permitir o uso de ferramentas com vários dentes, garante altas taxas de remoção de material e produção de geometrias diversas (MACHADO *et al.*, 2015). Devido à alta dureza dos aços ferramentas, há a necessidade de desenvolver ferramentas de corte com boa combinação de propriedades. Segundo Machado *et al.* (2015), o material da ferramenta deve ser mais duro e mecanicamente mais resistente que a peça, possuindo boa resistência ao desgaste e boa tenacidade, a fim de suportar os choques e impactos inerentes ao processo de usinagem.

De acordo com Ferraresi (1977), o metal duro é o material de ferramenta mais importante utilizado industrialmente na usinagem. Isto devido à combinação de elevada dureza, tanto na temperatura ambiente como a elevadas temperaturas, resistência ao desgaste e resistência a ruptura transversal, que é utilizada para avaliar sua tenacidade. Basicamente o metal duro é formado por dois constituintes: carbonetos que garantem dureza, podendo ser só de tungstênio ou associado com outros tipos, como de titânio, tântalo e nióbio, principalmente; e o elemento ligante, que garante a tenacidade, normalmente o cobalto. Essas possíveis combinações garantem suas características para diversas aplicações em ferramentas de corte. A dureza está ligada diretamente com a composição do metal duro, além do tamanho dos grãos dos carbonetos, que quanto menores, maior a dureza média da ferramenta, aliado a uma maior capacidade de absorver impactos ou maior tenacidade (MACHADO *et al.*, 2015).

Devido ao maior fator de empacotamento que grãos muito pequenos propiciam, o material passa a possuir maior área de contornos de grãos aumentando a dureza, resistência ao desgaste e tenacidade do material. O contorno de grão atua como barreira ao movimento das discordâncias, ocasionando maior resistência à deformação do material (DINIZ *et al.*, 2008).

Neste projeto foram estudadas a temperatura de usinagem e a vida de duas classes de ferramentas de metal duro sub-microgrãos, a TMG30 (grãos entre 0,5 e 0,8 μm) e a TSF44, esta denominada de grãos ultrafinos (0,2 a 0,5 μm), ambas produzidas pela fabricante OSG Sulamericana de Ferramentas Ltda, usando bastões de metal duro fabricados pela Ceratizit. Pretende-se assim, determinar a melhor ferramenta e condição de usinagem do aço ferramenta VP Atlas, no fresamento de topo, permitindo a comparação entre as duas classes de ferramentas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O aço VP Atlas, segundo o fabricante, a Villares Metals, possui dureza média de 38 a 42 HRC e composição dada na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição química do aço VP Atlas, segundo o fabricante (Villares Metals, 2021)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V
0,274	0,291	1,62	0,0241	0,0021	1,79	0,662	0,493	0,0845
Al	Co	Cu	Nb	Ti	W	Pb	Sn	B
<0,0005	0,150	0,0323	0,0071	0,0013	0,0405	<0,0025	0,0025	<0,0003
Ca	Zr	Bi	As	N	Sb	Fe	CE	
>0,0078	0,0021	<0,005	0,0036	0,0286	<0,003	94,5	1,089	

Para a realização deste trabalho foram utilizadas ferramentas de metal duro WC – Co sem revestimento, com grãos sub-microns TMG30 (0,5 a 0,8 μm) e grãos ultra-finos TSF44 (0,2 a 0,5 μm), ambas fabricadas pela OSG Sulamericana de Ferramentas Ltda, com material base fornecido pela Ceratizit. A Tabela 2 apresenta as características dessas ferramentas, fornecidas pelo fabricante.

Tabela 2 - Propriedades das ferramentas, de acordo com o fabricante (Ceratizit, 2021)

Classe	Grãos [μm]	Co [%]	Densidade [g/cm^3]	Dureza HV30	TRS [MPa]	K1C [$\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$]
TSF44	0,2 a 0,5	12	14,1	1730	4600	7,8
TMG30	0,5 a 0,8	10	14,4	1570	3600	9,3

2.1. Ensaios de fresamento

Os ensaios de fresamento de topo a seco foram realizados no Laboratório de Pesquisa em Usinagem (LAUS) da PUCPR, no centro de usinagem Cincinnati Milacron Arrow 500, com 7,5 kW de potência e rotação máxima de 6000 rpm. Os ensaios de vida seguiram um planejamento fatorial 2^3 , sendo as variáveis de entrada: velocidade de corte, avanço e material da ferramenta, única variável qualitativa, em seus níveis +1 (TSF44) e -1 (TMG30) como demonstrados na Tabela 3. As variáveis de saída foram a vida da ferramenta e a temperatura de corte. A profundidade de corte axial e a profundidade radial (penetração de trabalho) foram mantidas constantes em 1,0 mm e 7,5 mm, respectivamente, em corte predominantemente concordante. Além disso, as condições selecionadas estão dentro do indicado pelo fabricante e foram escolhidas para comparar o desempenho de vida e temperatura das ferramentas. Porém, as condições de corte também estão relacionadas com o acabamento superficial, a taxa de remoção de material, esforços mecânicos e de temperatura durante a usinagem. Essas condições podem implicar numa maior durabilidade da ferramenta de corte e qualidade do acabamento da peça usinada, por exemplo.

Tabela 3 - Níveis das variáveis a serem utilizados nos ensaios experimentais

	-1	+1
Velocidade de corte (V_c) [m/min]	75	150
Avanço (f_z) [mm/dente]	0,02	0,035
Ferramentas	TMG30	TSF44

2.2. Ensaios de vida das ferramentas de corte

A peça do VP Atlas usada nos ensaios de vida das ferramentas possuía a dimensão original de 250 x 200 x 75 mm. As condições de corte foram aquelas definidas no planejamento fatorial, cujos níveis foram mostrados na Tabela 3. A frequência de medição do desgaste ocorreu sempre ao final de uma passada, com percurso de avanço de 250 mm. Para a medição, a ferramenta era retirada junto com o mandril, levada ao microscópio ótico, posicionada corretamente e, com auxílio do software ZEN blue, media-se o desgaste de flanco médio VB_B . Para calibração do sistema, foi utilizada uma régua para criar a escala em pixels para o comprimento de um milímetro, o que resultou em uma escala de $2,17\mu\text{m}/\text{px}$. Além disso, foi tomado o cuidado para que todas as medições fossem realizadas na mesma altura para evitar erros de paralaxe. A Figura 1 apresenta um exemplo dessas medições. Como critério de fim de vida da ferramenta, utilizou-se o desgaste médio de flanco VB_B de 0,3 mm ou o desgaste de flanco máximo $VB_{B \text{ máx}}$ de 0,6 mm, o que ocorrer primeiro, seguindo recomendações da Norma ISO 8688-1 (1989). O critério baseado no desgaste de flanco médio predominou sobre o máximo em todas as condições testadas.



Figura 1 - Desgaste de flanco medido no software ZEN Blue

2.3. Ensaios de temperatura de usinagem

Nos ensaios de temperatura foram utilizados dois métodos de medição, usando uma câmera infravermelha e com termopar do tipo T colados na superfície da peça. Ambos foram usados simultaneamente, para medir a temperatura na mesma passada. No método de medição por meio de radiação infravermelha, a distância da lente da câmera foi fixada em um metro do ponto focal na ferramenta, escolhido na extremidade inferior da fresa. A emissividade foi regulada em 0,9, utilizando a câmera infravermelha modelo SC620, fabricado pela FLIR Tools, disponível no Laboratório de Sistemas

Térmicos – LST da PUCPR, regulada para gerar um frame por segundo e duas faixas de medição, 0 a 100 °C e 0 a 500 °C.

No segundo método de medição da temperatura, foram colados cinco termopares do tipo T (cobre/constantan) calibrados na superfície do corpo de prova. Essa peça foi retirada da barra do VP Atlas com dimensões de 110 x 67 x 8 mm, a ser fresada, com os termopares colados por um equipamento de descarga capacitiva, desenvolvido pelo LabTC da Universidade Federal de Itajubá, bem próximo à passagem da ferramenta de corte (0,5 mm a abaixo), como mostrado na Figura 2. A cada passe foram removidos 770 mm³ de material ($a_p = 1,0$ mm e $a_e = 7,0$ mm). Os sinais dos termopares foram medidos, utilizando uma placa de aquisição da Agilent. As temperaturas medidas pelos dois métodos foram analisadas, permitindo comparações entre as ferramentas testadas e entre os métodos utilizados. As ferramentas TSF44 e TMG30 foram usadas, cada uma em um corpo de prova, seguindo as mesmas condições de corte para que os corpos de prova tivessem as mesmas dimensões. Para comparar as temperaturas atingidas durante o corte, foi considerado a média entre as máximas temperaturas desses termopares, distantes em 22 mm entre si, e também a máxima temperatura obtida pela câmera infravermelha em que são captadas imagens a cada segundo medindo a temperatura de seu ponto focal localizado na ponta da ferramenta durante o fresamento, demarcado na imagem por “Sp1” conforme demonstrada a Figura 2. A taxa de aquisição dos dados pelos termopares foi de 0,6 Hz e a da câmera foi de 1,0 Hz.

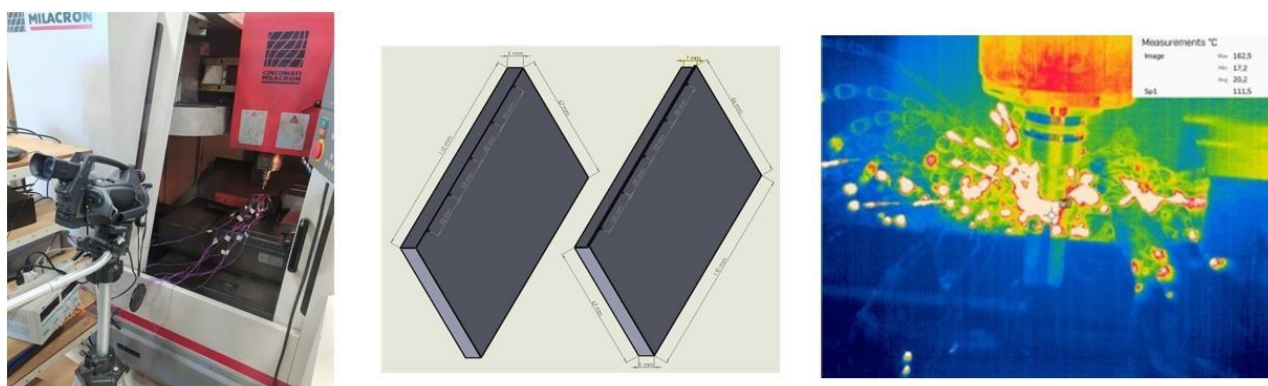


Figura 2 – (a) Set-up para ensaios de temperatura, câmera infravermelho e termopares do tipo T colados na superfície do corpo de prova; (b) corpo de prova para os ensaios com destaque para os pontos dos cinco termopares (peça da esquerda antes e da direita após usinagem com $a_p = 1,0$ mm e $a_e = 7,0$ mm); (c) frame da câmera durante o fresamento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados deste projeto de pesquisa serão apresentados separadamente para cada condição de corte usada (foram 4 condições, conforme Tabela 3). Os ensaios de vida das ferramentas de corte TMG30 e TSF44 foram realizadas sem repetições. Entretanto, como as fresas possuem quatro arestas, foi considerado como repetição as arestas que atingiram o desgaste de flanco médio superior a 0,3 mm na mesma passada. Os resultados de temperatura consideram a média geral das temperaturas máximas apresentadas pelos dois métodos, isto é, médias das máximas temperaturas medidas por cada termopar colado na peça e a máxima temperatura registrada pela câmera infravermelha.

Na medição das temperaturas com a câmera infravermelha, o foco da câmera deve estar necessariamente no mesmo ponto em todos os testes e na mesma distância, caso contrário, os resultados podem sofrer alterações. Outra peculiaridade na comparação foi que, a câmera estava medindo a temperatura na ponta da ferramenta e os termopares estavam medindo na superfície do corpo de prova. Sendo assim, pode-se concluir que os dois métodos são diferentes entre si e possuem suas particularidades. Porém, para a comparação das duas ferramentas, a utilização dos dois ao mesmo tempo aumenta as chances de adquirir informações mais precisas e confiáveis.

3.1. Condição 1 – Menor avanço e menor velocidade de corte

Nas condições de menor velocidade de corte (75 m/min) e menor avanço por dente (0,02 mm), as vidas úteis das duas ferramentas são apresentadas na Figura 3. Para maior assertividade na resposta do tempo correto em que foi atingido o desgaste de flanco médio de 0,3 mm, foi considerada a média entre as duas arestas da mesma ferramenta, com interpolação entre os últimos dois pontos (antes e depois do desgaste de 0,3 mm) para os valores da curva real de desgaste x tempo.

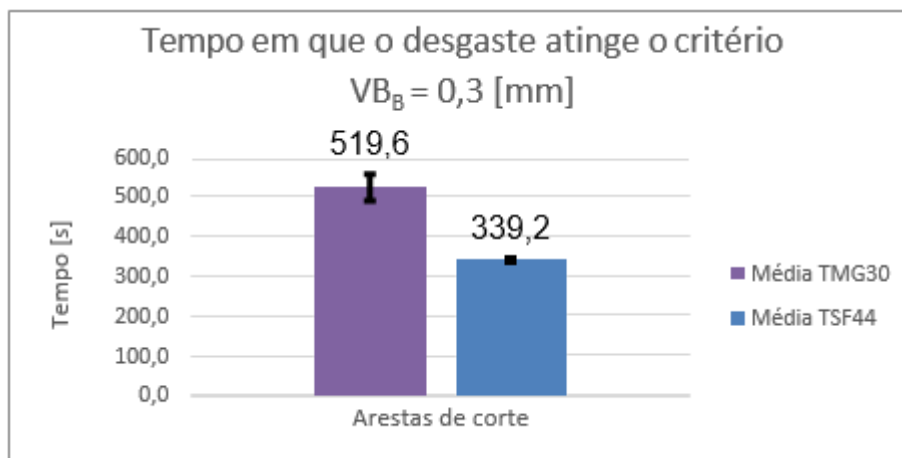


Figura 3 - Comparação do tempo relacionado ao desgaste de flanco VB_B das ferramentas TMG30 e TSF44 para a condição 1, $f_z = 0,02$ mm/dente e $V_c = 75$ m/min

Observa-se que a vida da ferramenta TMG30 foi superior à da TSF44 (53%, próximo de 3 minutos, o equivalente a aproximadamente 4300 mm³ de material removido), resultado que em primeira vista surpreendeu pois, a TSF44 possui granulação mais fina e, portanto, esperava-se maior desempenho que a TMG30. Analisando os resultados de temperatura, Fig. 4, verifica-se que não houve diferenças significativas entre elas. Para se ter uma explicação contundente desses resultados, seria necessária uma análise detalhada, com identificação dos mecanismos de desgaste atuantes nas ferramentas, no microscópio eletrônico de varredura (MEV).

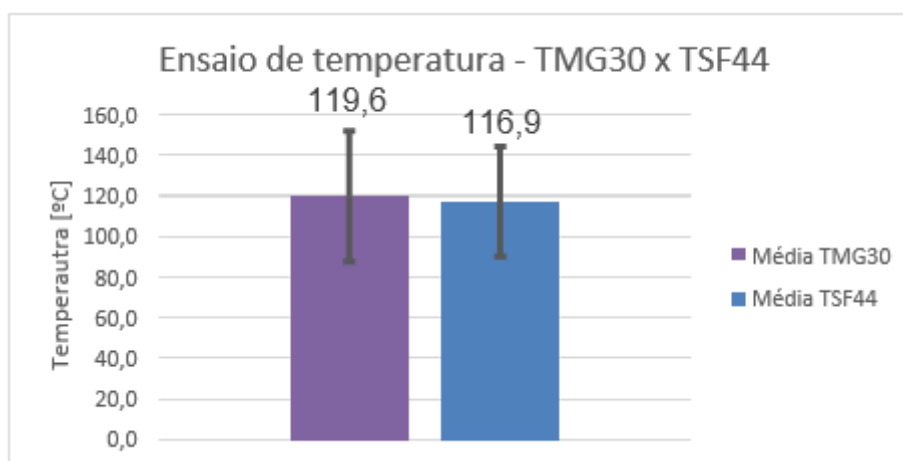


Figura 4 - Ensaio de temperatura - TMG30 x TSF44 para a condição 1, $f_z = 0,02$ mm/dente, $V_c = 75$ m/min.

Durante a medição dos desgastes, observou-se que as áreas desgastadas das ferramentas apresentaram sinais de predominância de abrasão, sendo que a ferramenta TSF44 os desgastes foram maiores, desde o início. Essa abrasão pode ter sido causada por partículas duras da peça, mas também de grãos duros arrancados da própria ferramenta por adesão previamente. Embora, para certificação, é necessário análises mais detalhadas. Na literatura, há indicação que quando o mecanismo de desgaste predominante é adesão (ou *attrition*), grão maiores de carbonetos apresentam maior ancoramento no ligante de cobalto e, portanto, podem apresentar menores taxas de desgaste que ferramentas com grãos menores (MACHADO; DINIZ, 2017).

3.2. Condição 2 – Maior avanço e menor velocidade de corte

A Figura 5 apresenta a vida das ferramentas ferramentas TMG30 e TSF44, para as condições de corte de maior avanço (0.035 mm/dente) e menor velocidade de corte (75 m/min). Os resultados mostram que para o critério de fim de vida adotado, a ferramenta TSF44 teve maior tempo de vida média, em aproximadamente 37 segundos ou 15%, o equivalente a cerca de 1550 mm³ de material removido, comparado à ferramenta TMG30.

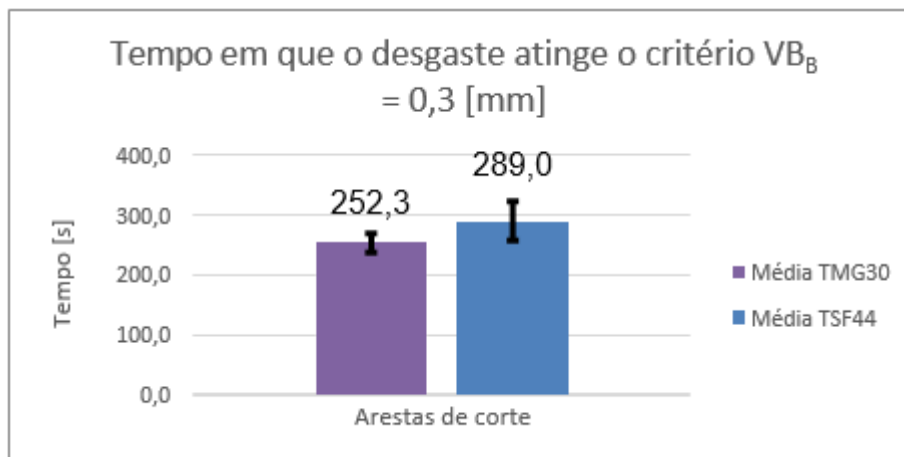


Figura 5 - Comparação do tempo relacionado ao desgaste de flanco VB_B das ferramentas TMG30 e TSF44 para a condição 2, $f_z = 0,035$ mm/dente e $V_c = 75$ m/min.

A Figura 6 apresenta os resultados das médias dos valores máximos da temperatura nos ensaios com as duas ferramentas. Observa-se que a ferramenta TMG30 apresentou valores de temperatura superiores ao da TSF44 em pelo menos 30°C ou 37%. Neste caso, os resultados foram coerentes, em que as ferramentas que apresentaram maiores temperaturas de usinagem, TMG30, também foram as que apresentaram menores vidas.

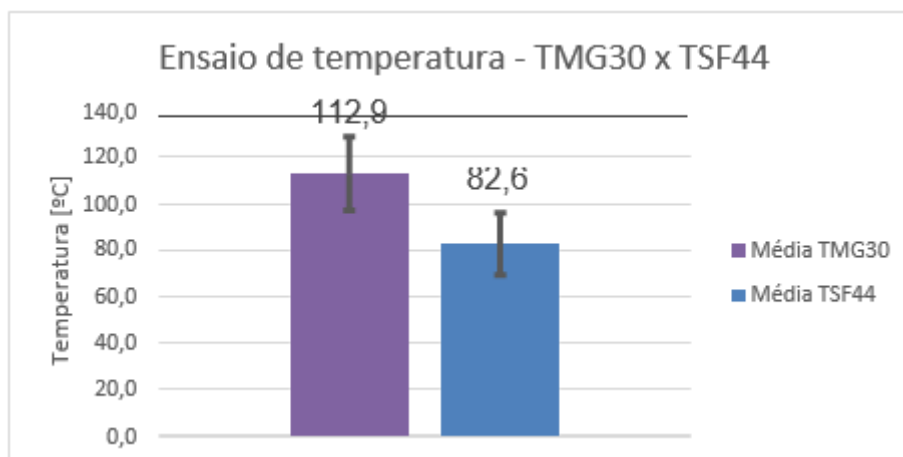


Figura 6 - Ensaio de temperatura - TMG30 x TSF44 para a condição 2, $f_z = 0,035$ mm/dente e $V_c = 75$ m/min.

3.3. Condição 3 – Menor avanço e maior velocidade de corte

Para as condições de corte de menor avanço (0,02 mm/dente) e maior velocidade de corte (150 m/min). Foi nítido o desempenho superior da ferramenta TMG30 em relação à TSF44. A Figura 7 apresenta os valores médios das vidas das duas ferramentas, para o critério de fim de vida adotado. A vida da ferramenta TMG30 foi superior à ferramenta TSF44, em aproximadamente 73 segundos, que corresponde a cerca de 3350 mm³ de material removido, ou 70,7 %, segundo a média gerada pelas curvas reais e pelas retas ajustadas.

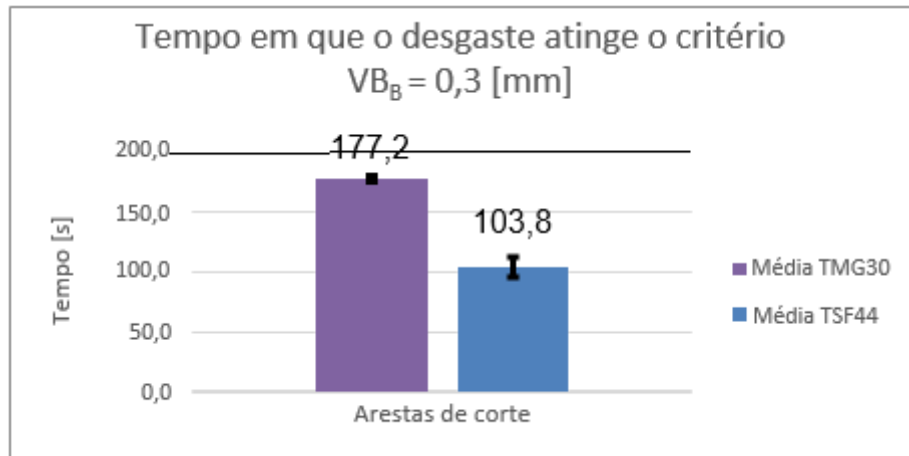


Figura 7 - Comparação do tempo relacionado ao desgaste de flanco VB_B das ferramentas TMG30 e TSF44 para a condição 3, $f_z = 0,02$ mm/dente e $V_c = 150$ m/min.

A Figura 8 apresenta os resultados de temperatura nesta condição de corte. Apesar da barra de dispersão indicar valores similares estatisticamente, a média da temperatura máxima atingida durante o corte com a ferramenta TMG30 foi superior (22%) que com a ferramenta TSF44. Observa-se que os resultados obtidos para a ferramenta TSF44 apresentou grande dispersão, indicando menor precisão na análise. É importante comentar que a ferramenta TSF44 apresentou vida mais curta, embora a média de temperatura máxima seja menor. Isto reforça a necessidade da análise dos mecanismos de desgastes atuantes para explicar estes resultados, considerando ainda a possibilidade de maior resistência à adesão da ferramenta com grão de carbonetos maiores, conforme a literatura (MACHADO; DINIZ, 2017).

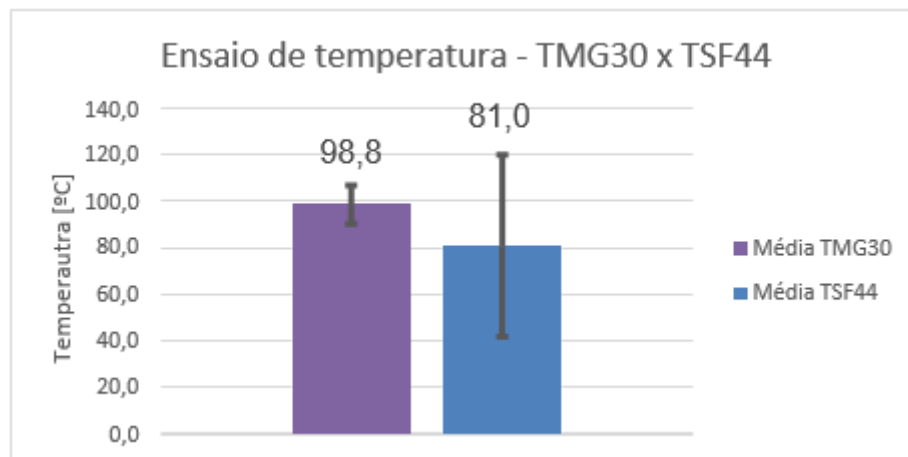


Figura 8 - Ensaio de temperatura - TMG30 x TSF44 para a condição 3, $f_z = 0,02$ mm/dente e $V_c = 150$ m/min.

3.4. Condição 4 – Maior avanço e maior velocidade de corte

Por fim, a última condição de corte para as duas ferramentas, maior avanço (0,035 mm/dente) e maior velocidade de corte (150 m/min), representa a condição mais agressiva. A Figura 9 demonstra que a diferença média entre a vida das ferramentas foi de aproximadamente 45 segundos, equivalente a cerca de 3800 mm³ de material removido ou 49,8 %, em favor da TMG30.

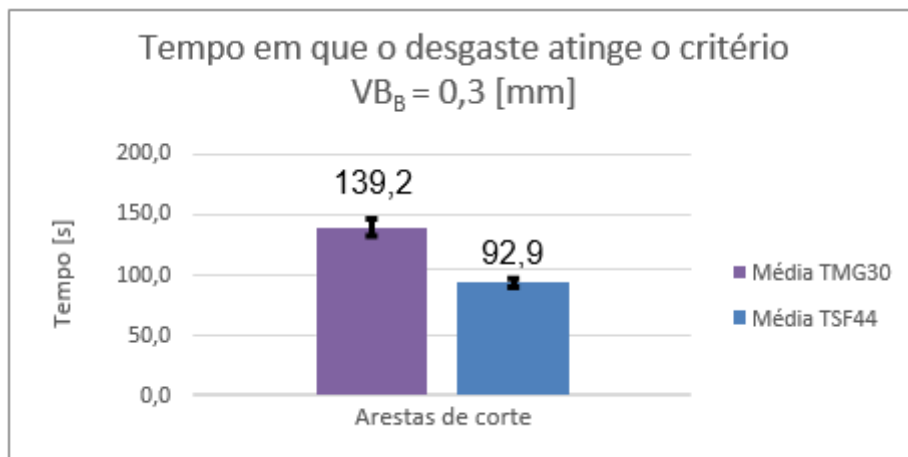


Figura 9 - Comparação do tempo relacionado ao desgaste de flanco VB_B das ferramentas TMG30 e TSF44 para a condição 4, $f_z = 0,035$ mm/dente e $V_c = 150$ m/min.

A Figura 10 apresenta os valores médios das temperaturas máximas obtidas pelos dois métodos de medição para a condição de corte mais agressiva. As temperaturas máximas atingidas pela ferramenta TSF44 foram superiores às encontradas para a ferramenta TMG 30, em aproximadamente 17°C, ou 18,5 %, embora sejam estatisticamente similares, considerando as barras de dispersão dos resultados. Neste caso, a ferramenta que apresentou maiores médias de temperaturas foi a que obteve a menor vida. Embora análise criteriosa dos mecanismos de desgastes seja necessária, é possível inferir que pode ter predominado mecanismos em que a temperatura é de extrema importância, como a difusão, por exemplo.

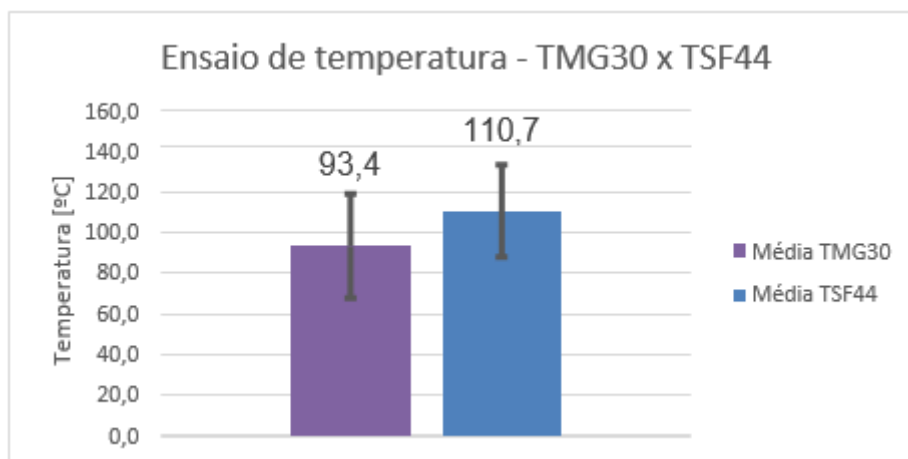


Figura 10 - Ensaio de temperatura - TMG30 x TSF44 para a condição 4, $f_z = 0,035$ mm/dente e $V_c = 150$ m/min

4. CONCLUSÕES

Foi possível concluir que, no geral, a ferramenta TMG30 apresentou melhor resultado para vida em relação a TSF44, atingindo um maior volume de material removido. Para os ensaios de temperatura, nas condições de menor velocidade de corte e menor avanço, as duas ferramentas apresentaram temperaturas próximas, para as condições mais severas – maior velocidade de corte e maior avanço –, a ferramenta TSF44 apresentou maiores valores de temperatura. E, nas demais condições, a ferramenta TMG30 apresentou valores de temperatura superiores aos da TSF44. Para poder explicar melhor esses resultados, é imperativo que se faça uma análise criteriosa dos mecanismos de desgastes predominantes, no microscópio eletrônico de varredura (MEV).

Os ensaios de vida das ferramentas, em algumas condições, apresentaram resultados diferentes do esperado – em que a ferramenta com grãos mais finos, TSF44, deveria apresentar maior resistência ao desgaste e, portanto, maiores vidas. Para explicar estes resultados seria necessário realizar uma análise apurada dos mecanismos de desgaste das ferramentas no MEV, o que no presente trabalho não foi possível fazer. Quanto aos ensaios de temperatura, também há necessidade de realização de mais testes, a fim de eliminar as grandes dispersões apresentadas em alguns casos.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às empresas Ceratizit America Latina Ltda, OSG Sulamericana de Ferramentas Ltda e Villares Metals S.A., pelo fornecimento da matéria-prima de metal duro, fabricação das ferramentas, e doação do material da peça (VP Atlas), respectivamente. A conclusão desse trabalho só foi possível graças ao apoio dos técnicos Garrido e Michel que auxiliaram em toda a parte prática dessa pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- Diniz, A.E.; Marcondes, F.C.; Coppin, N.L., 2008. Tecnologia da Usinagem dos Materiais, 6ª edição São Paulo: Artliber Editora, 2008. p. 262.
- Ferraresi, D., 1977. “Fundamentos da Usinagem dos Metais”, Editora Edgard Blücher Ltda., vol. 1, SP.
- ISO Standard n. 8688-1., 1989. Tool Life Testing in Milling – Part 1: Face Milling.
- Machado A.R.; Abrão A.M.; Coelho R.T., Da Silva M.B., 2015. Teoria da Usinagem dos Materiais. 3rd ed. São Paulo - SP: Editora Edgard Blücher.
- MACHADO, A.R.; DINIZ, A.E., 2017. “Tool wear analysis in the machining of hardened steels”, The international Journal of Advanced Manufacturing Technology, Springer, vol. 92, Issues 9-12, pp 4095-4109. DOI: 10.1007/s00170-017-0455-2
- Suarez, M. P., 2008. Fresamento de Canais da Liga de Alumínio Aeronáutico 7075T7. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia.
- Villares Metals, 2015. Aços para Moldes. Catálogo de aços para moldes e matrizes. Disponível em: <<http://www.villaresmetals.com.br/villares/pt/Produtos/Acos-Ferramenta/Moldes-Plasticos/VP-ATLAS>>.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

COMPARISON BETWEEN CARBIDE TOOLS WITH DIFFERENT GRAIN SIZES IN END MILLING OF VP ATLAS TOOL STEEL

Lucas Henrique Correia Pires

Álisson Rocha Machado

Deivson Alan Erzinger

Fábio Rüstow de Paula

Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR) R. Imaculada Conceição, 1155 - Prado Velho, Curitiba - PR, 80215-901
correia.pires@pucpr.edu.br, alisson.rocha@pucpr.br, deivson.alan@gmail.com, fabio.rustow@pucpr.edu.br

Abstract: The frequent demand for new products in industry in general and the advancement of technology, mainly in the automotive area, boost tooling in the manufacture of molds for plastic injection and dies for extrusion of thermoplastics. The machining of molds is problematic, as they are normally very hard materials that need to withstand great mechanical and thermal stresses in daily manufacturing processes. In this way, the correct choice of tools and cutting conditions is essential, making it necessary to use a tool with greater hardness, mechanical resistance and good combination of properties to be able to machine the material. Cutting conditions are related to surface finish, material removal rate, mechanical stresses and temperature during machining. The choice of the right conditions may imply a greater durability of the cutting tool and better finish quality of the machined part, for example. The objective of this work was to investigate the performance of two cemented carbide cutting tools, one sub-micrograin - TMG30 (grains between 0.5 and 0.8 μm) and another with ultrafine grains - TSF44 (grains between 0.2 and 0.5 μm), considering the tool life and machining temperature when end milling VP Atlas steel (38 - 42 HRC) used for injection and extrusion of thermoplastics. The experiments followed a factorial design of 2^3 , with the input variables: cutting speed, feed rate and tool material and the output variables were tool life and cutting temperature. In the tool life tests, average flank wear $VB_B = 0.3 \text{ mm}$ was used as the end-of-tool-life criterion. For the temperature tests, two different measurement methods were used, an infrared camera and bonding of T-type thermocouples on the workpiece surface. The results showed that the TMG30 tool presented a longer tool life, from 15% to 70.7% higher than the TSF44 tool. On the other hand, the TMG30 tool obtained temperature results from 2 to 37% higher than TSF44, except in the most severe cutting condition, with higher feed and higher cutting speed, in which the ultrafine grain tool, TSF44, presented temperatures 18.5% higher than TMG30. The TMG30 tool had a better result for tool life even with a larger grain size than the TSF44. The two tools presented similar results of machining temperature, making it necessary to carry out more tests to reduce the large dispersion presented in some test.

Keywords: End milling; VP Atlas steel; Sub-micrograin carbide tools; Tool life; machining temperature

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsables for the printed material included in this paper.