Copyright © 2015 ABCM

DESEMPENHO DE FRESAS DE METAL DURO REAFIADAS NO FRESAMENTO DE TOPO DE UM AÇO P20 PARA MOLDES E MATRIZES

Ricardo Ribeiro Moura, ricardoribeiromoura@ufg.br[1]
André Alves de Resende, aaresende@gmail.com[1]
Márcio Bacci Da Silva, mbacci@ufu.br[2]
Álisson Rocha Machado, alissonm@mecanica.ufu.br[2]
Wisley F. Sales, wisley@ufu.br[2]

[1]Universidade Federal de Goiás, LFM/FENAD/UFG, Av. Dr. Lamartine Pinto de Avelar, 1120 - Setor Universitário - 75704-020 Catalão – GO, Brasil.
[2]Universidade Federal de Uberlândia, LEPU/FEMEC/UFU, Av. João Naves De Ávila, 2121. CEP: 38.400-902 – Uberlândia – MG, Brasil.

Resumo: *Atualmente a indústria busca de forma crescente a obtenção de produtos com elevada qualidade, baixo custo de produção e grande produtividade através de novas tecnologias e métodos para reduzir o custo final de produção. Na área de ferramentas de corte não é diferente, novas geométricas, revestimentos e compostos são desenvolvidos visando obter alta produtividade e baixo custo, fator determinante para a competitividade neste segmento. A utilização de ferramentas reafiadas tem ganhado força ao longo dos anos, principalmente com a entrada de empresas especializadas neste segmento, este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho destas ferramentas no fresamento de topo, para tanto foram testadas fresas de topo inteiriças de metal duro revestidas (TiAlN e AlCrN), nas condições de novas e reafiadas na usinagem do aço VP20ISOF utilizado na confecção de moldes e matrizes. Os parâmetros avaliadores deste desempenho foram a força de usinagem e o torque das ferramentas. Os resultados experimentais mostram que as ferramentas reafiadas obtiveram um desempenho similar ao de uma ferramenta nova, podendo-se concluir através de análise estatística que não há diferença significativa entre elas.*

Palavras-chave: *Fresamento de topo, ferramentas reafiadas, aço P20, força de usinagem e torque.*

1. INTRODUÇÃO

O processo de fresamento é largamente usado em uma variedade de setores da indústria, tais como automotiva, aeroespacial, têxtil entre outras. Os avanços tecnológicos obtidos nas áreas de ferramentas de corte e máquina-ferramenta tornam o fresamento cada vez mais abrangente e competitivo. Estes avanços permitiram que a este processo de usinagem atingir níveis de tolerâncias dimensionais cada vez mais exigentes e com excelentes níveis de acabamento, além da obtenção de geometrias complexas.

A usinagem representa papel fundamental nos processos de fabricação dos mais variados ramos da indústria mecânica. Dentre os diversos processos de usinagem, o fresamento constitui um dos mais importantes pela sua produtividade e flexibilidade (Groover, 2002).

A manufatura de um grande número de componentes na indústria depende de moldes e matrizes para processos como injeção de plástico, forjamento, metalurgia do pó, estampagem e fundição. Normalmente, os moldes e matrizes são compostos por peças com complexas geometrias confeccionadas em materiais de elevada dureza, o que torna a atividade de usinagem mais difícil. Apesar dos moldes e matrizes representarem um pequeno investimento comparado a todo programa de produção, seu projeto e manufatura representam um aspecto fundamental no tempo total de desenvolvimento. Outro fator importante é que, em determinados processos, a qualidade dos moldes e matrizes implica diretamente na qualidade das peças produzidas (Oliveira, 2007).

Na fabricação de matrizes a preocupação com o conceito de redução de custos não é diferente dos demais segmentos industriais. Para atender a esta necessidade as empresas lançam mão de ferramentas de software e hardware cada vez mais poderosos e usinagem em máquinas CNC, com a utilização de modernos conceitos de ferramental, ferramentas com revestimentos tribológicos e metodologias de usinagem específicas para cada objetivo (Ribeiro et al., 2006).

A utilização de ferramentas reafiadas na linha de produção é algo que tem ganhado força ao longo dos anos, principalmente com a introdução no mercado de empresas especializadas neste segmento. A utilização dessas

Copyright © 2015 ABCM

ferramentas proporciona a redução do custo de usinagem e prolonga o tempo de uso da ferramenta em determinado processo.

Neste trabalho, o foco foi a utilização de fresas de topo de metal duro integral e revestidas, com o intuito de sempre comparar o desempenho de uma fresa nova com as suas respectivas reafiações.

2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Este trabalho consiste em analisar o desempenho de fresas de topo de metal duro, novas e reafiadas, depois de utilizadas até o fim de vida em fresamento de topo. A força e o torque dessas ferramentas foram as variáveis de saída, base para as comparações. Visando confiabilidade estatística a própria metodologia escolhida permitiu várias repetições dos testes. Para cada tipo de teste foram utilizadas 4 ferramentas novas, utilizadas até atingir 100% de vida (fim de vida). Esta distribuição possibilitou a realização de 4 réplicas para cada condição.

Foram utilizadas ferramentas de metal duro da série HY-PRO® com 4 canais, inteiriças, de metal duro classe H, com 10% de cobalto, fornecidas pela OSG Sulamericana de Ferramentas Ltda. Foram usados dois tipos diferentes de revestimentos PVD, feitos pela Oerlikon Balzers, Alcrona® (AlCrN) e o Futura Top® (TiAlN). As fresas possuem 10 mm de diâmetro, 70 mm de comprimento, sendo 25 mm a extensão da aresta de corte.

A vida da ferramenta é definida como o período em que a ferramenta pode ser utilizada na produção (no processo de usinagem), seguindo o critério de fim de vida recomendado pelo fabricante, neste caso a OSG Sulamericana de Ferramentas S.A., para a operação mencionada foi o $VB_{máx} = 0.20$ mm. Este critério de fim de vida deve ser respeitado levando em consideração que o processo de reafiação é feito no sentido radial da ferramenta, sendo assim, quanto maior o desgaste menor o diâmetro final da ferramenta. O diâmetro final das fresas reafiadas variou entre 9.90 e 9.80 mm.

Após atingir o fim de vida a ferramenta foi enviada ao Centro de Reafiação da OSG Sulamericana de Ferramentas S.A. para reafiação e depois para a Oerlikon Balzers Coatings do Brasil para re-recobrimento, retornando ao LEPU/UFU reafiada e pronta para usinar novamente. A rotina utilizada para a reafiação é similar àquela utilizada para fabricar uma fresa nova.

O material da peça utilizada foi o aço ABNT P20 (de mesma designação ASTM, SAE e AISI, WNr 1.2311 da Norma DIN), utilizado para fabricação de moldes de injeção de plásticos. Foi fornecido na forma prismática, com as dimensões de 360x250x190 mm, pela Villares Metals S/A, cuja designação própria deste fabricante é VP20ISOF. Trata-se de um aço Cr-Mo elaborados através de desgaseificação a vácuo, com usinabilidade melhorada por tratamento com cálcio e fornecido no estado temperado e revenido com dureza na faixa de 30-34 HRC (285-321 HB).

O tipo de usinagem escolhido foi o fresamento de topo, com usinagem em uma única direção, sentido discordante, com penetração de trabalho (ae) de 1 mm e profundidade de corte (ap) de 10 mm. A passada tem o comprimento de 360 mm. O comprimento em balanço foi de 35 mm, o batimento medido no eixo-árvore da máquina e na ponta da ferramenta foi de 6 µm e 9 µm, respectivamente. As condições de corte são apresentadas na Tab. 1.

Tabela 1 – Condições de corte e critérios de fim de vida da ferramenta estipulados para os ensaios.

Tipo de teste	v_c (m/min)	v_f (mm/min)	f_z (mm/dente)	Critério de Fim de Vida	
Condição 1	80	153	0,015	$VB_{máx.} = 0.20$ mm	AlCrN = 200 passadas TiAlN = 140 passadas
Condição 2	100	191	0,015	$VB_{máx.} = 0.10$ mm	AlCrN = 140 passadas TiAlN = 80 passadas

Para a Condição 2 ($v_c = 100$ m/min) o critério de fim de vida teve de ser alterado devido as altas vibrações geradas com o aumento do desgaste.

3. RESULTADOS

Este artigo é o resultado da continuação da linha de pesquisa envolvendo ferramentas reafiadas, onde segundo Moura e Machado (2013), de forma geral as ferramentas revestidas com AlCrN tiveram um desempenho superior as ferramentas revestidas com TiAlN, possibilitando sua utilização por um tempo maior de usinagem até atingir o fim de vida estipulado. As ferramentas reafiadas e recobertas com AlCrN apresentaram um desgaste ligeiramente inferior ao de uma ferramenta nova, enquanto que as ferramentas reafiadas e recobertas com TiAlN apresentaram um desgaste levemente superior ao de uma nova.

Segundo Ávila (2003), as principais causas associadas a este resultado podem ser atribuídas a falta de uma boa adesão do revestimento ao substrato da ferramenta, a alta dureza deste revestimento que indica a provável baixa tenacidade do mesmo, além das condições mecânicas, químicas e térmicas impostas durante o processo de fresamento. Considerando a velocidade de corte utilizada, o avanço, a profundidade de corte, a alta dureza do material usinado, associado a elevadas temperaturas na região de corte, proporcionaram o melhor desempenho do revestimento AlCrN

Copyright © 2015 ABCM

devido a sua maior capacidade de trabalho em elevadas temperaturas, 1.100 ˚C, enquanto que o TiAlN tem uma temperatura máxima de operação de 900˚C

3.1 Ferramentas revestidas com TiAlN

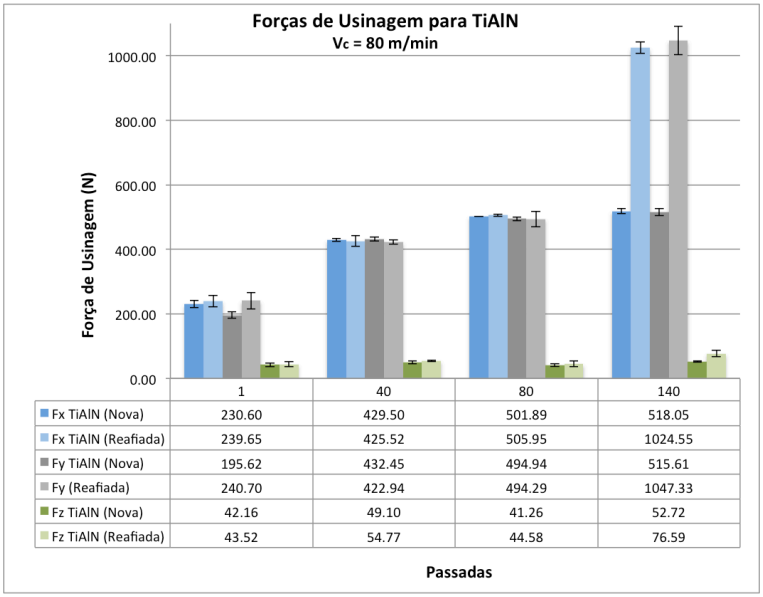
As Figuras 1 e 2 reproduzem a evolução das forças Fx, Fy e Fz longo da vida das ferramentas revestidas com TiAlN antes e após o processo de reafiação.

Nota-se na literatura a concordância entre vários autores (Ferraresi, 1977; Machado e Da Silva, 1999; Trent e Wright, 2000), para o fato de que a força de usinagem tende a diminuir com o aumento da temperatura devido ao aumento da velocidade de corte.

Observa-se que ocorre o aumento dos valores medidos das componentes de força ao longo da vida da ferramenta, o que se justifica pelo aumento da taxa de desgaste, confirmando os dados encontrados na literatura. O aumento da velocidade de corte não produz incrementos significativos de força de usinagem. Os valores da força Fz não sofreram variações significativas com o aumento da velocidade de corte.

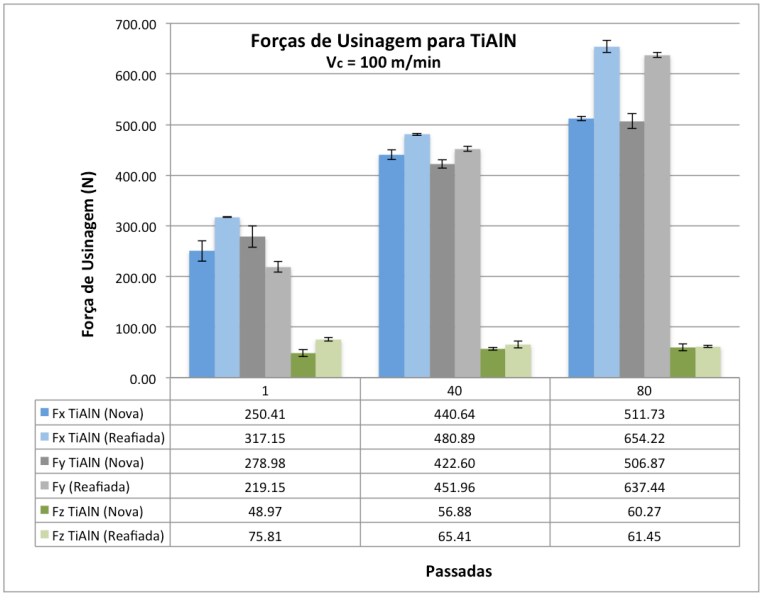
Analisando a Fig. 1, na condição de reafiada e na 140˚ passada, ocorre o aumento significativo das forças Fx e Fy, o que pode ser justificado pelo fato de a ferramenta ter apresentado uma taxa de desgaste levemente superior ao da ferramenta nova. O estudo de vida destas ferramentas mostra que a ferramenta reafiada e recoberta com TiAlN apresenta maiores taxas de deste quando comparada com uma ferramenta nova. A análise estatística da vida das ferramentas mostrou que não ocorreu uma diferença significativa entre o desempenho de uma ferramenta nova e a reafiada (Moura e Machado, 2013).

Figura 1 - Gráficos das forças Fx , Fy e Fz com TiAlN, v_c = 80 m/min.



	1	40	80	140
Fx TiAlN (Nova)	230.60	429.50	501.89	518.05
Fx TiAlN (Reafiada)	239.65	425.52	505.95	1024.55
Fy TiAlN (Nova)	195.62	432.45	494.94	515.61
Fy (Reafiada)	240.70	422.94	494.29	1047.33
Fz TiAlN (Nova)	42.16	49.10	41.26	52.72
Fz TiAlN (Reafiada)	43.52	54.77	44.58	76.59

Figura 2 - Gráficos das forças Fx, Fy e Fz com TiAlN, v_c = 100 m/min.



	1	40	80
Fx TiAlN (Nova)	250.41	440.64	511.73
Fx TiAlN (Reafiada)	317.15	480.89	654.22
Fy TiAlN (Nova)	278.98	422.60	506.87
Fy (Reafiada)	219.15	451.96	637.44
Fz TiAlN (Nova)	48.97	56.88	60.27
Fz TiAlN (Reafiada)	75.81	65.41	61.45

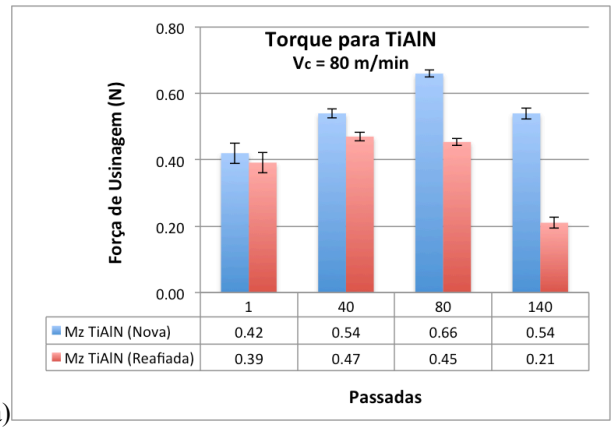
Copyright © 2015 ABCM

A Figura 3 apresenta a evolução do torque ao longo da vida da ferramenta revestida com TiAlN, comparando a evolução dos valores da ferramenta reafiada com a nova. Estes resultados diferem um pouco daqueles observados com as componentes de força, pois o crescimento do torque com o desgaste da ferramenta não é observado nitidamente. Em algumas situações nota-se, inclusive, um ligeiro decaimento do torque com o desgaste como no caso da ferramenta reafiada. Pequenas reduções nos diâmetros das fresas e a maior geração de calor podem estar contribuindo com estes resultados, mas conclusões adequadas sobre este comportamento carece de maiores investigações.

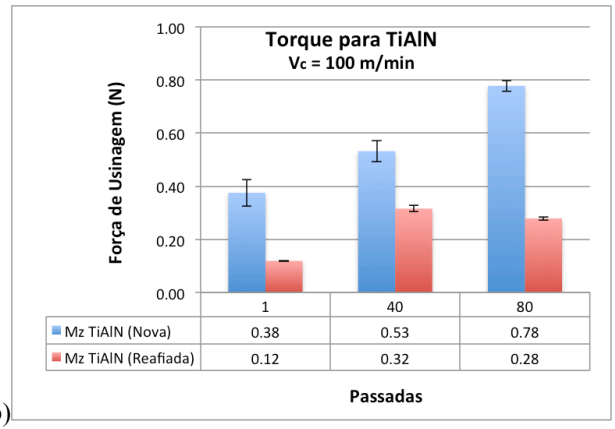
Nota-se nitidamente que os torques medidos na usinagem com as ferramentas reafiadas são bem inferiores aos medidos com as ferramentas novas, possivelmente a redução do diâmetro das fresas após a reafiação (medidas desses diâmetros antes e após a reafiação indicam uma redução de aproximadamente 0.20 mm) podem contribuir para esta redução, mas isso não deve ser o único fator influente. Outros fatores devem também estar contribuindo, investigações mais detalhadas são requeridas para justificar completamente estes resultados.

Figura 3 – Gráfico do torque (Mz) para TiAlN com v_c= 80 m/min (a) e v_c= 100 m/min (b).

a)



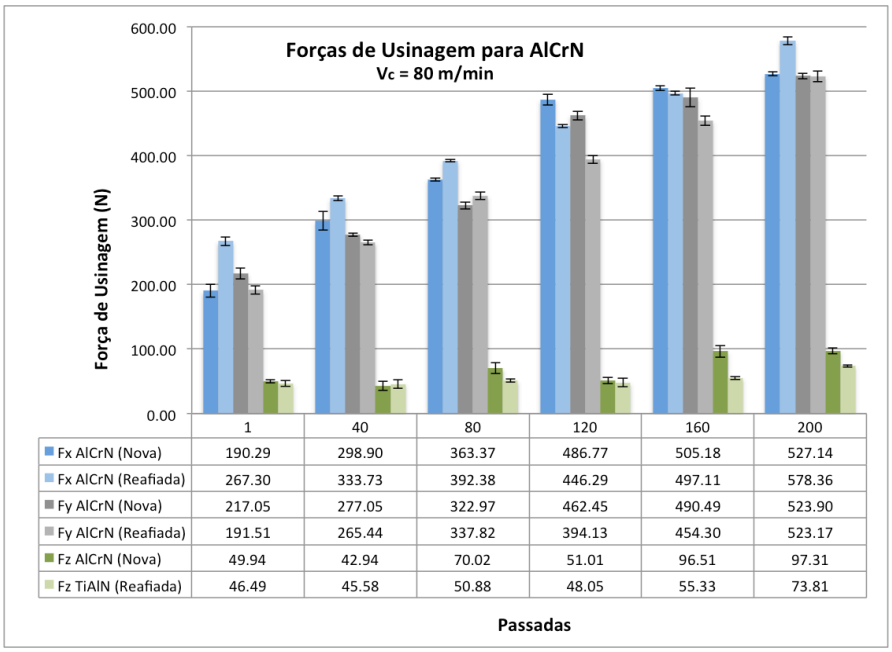
b)



3.2 Ferramentas revestidas com AlCrN

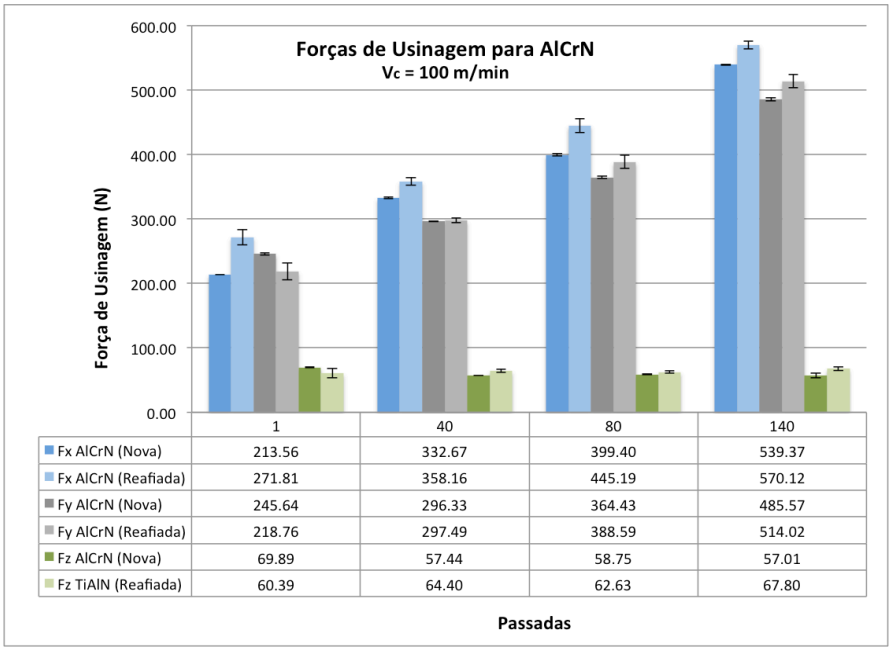
As Figuras 4 e 5 reproduzem a evolução das forças Fx, Fy e Fz longo da vida das ferramentas revestidas com AlCrN antes e após o processo de reafiação. O comportamento das forças Fx, Fy e Fz, das ferramentas revestidas com AlCrN seguiu o mesmo comportamento das ferramentas revestidas com TiAlN ao longo da vida.

Figura 4 - Gráficos das forças Fx , Fy e Fz com AlCrN, v_c = 80 m/min.



Copyright © 2015 ABCM

Figura 5 - Gráficos das forças Fx, Fy e Fz com AlCrN, v_c = 100 m/min.

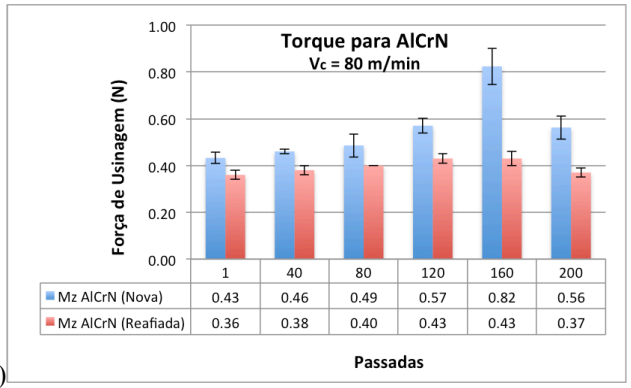


	1	40	80	140
Fx AlCrN (Nova)	213.56	332.67	399.40	539.37
Fx AlCrN (Reafiada)	271.81	358.16	445.19	570.12
Fy AlCrN (Nova)	245.64	296.33	364.43	485.57
Fy AlCrN (Reafiada)	218.76	297.49	388.59	514.02
Fz AlCrN (Nova)	69.89	57.44	58.75	57.01
Fz TiAlN (Reafiada)	60.39	64.40	62.63	67.80

A Figura 6 ilustra a evolução do torque ao longo da vida da ferramenta revestida com AlCrN, comparando a evolução dos valores da ferramenta reafiada com a nova. Estes resultados são similares aos observados com as ferramentas revestidas com TiAlN, com as ferramentas reafiadas apresentando menor valor de torque em comparação com as novas para as duas velocidades de corte testadas.

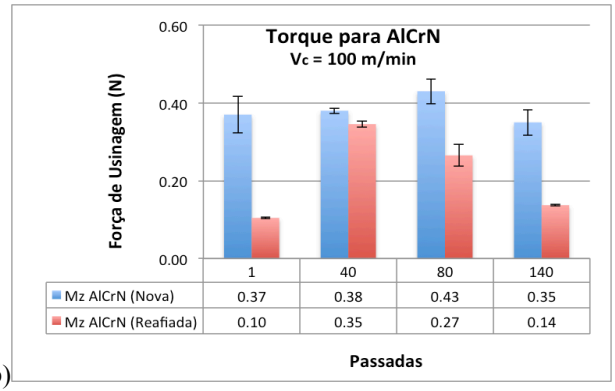
Figura 6 – Gráfico do torque (Mz) para AlCrN com v_c= 80 m/min (a) e v_c = 100 m/min (b).

a)



	1	40	80	120	160	200
Mz AlCrN (Nova)	0.43	0.46	0.49	0.57	0.82	0.56
Mz AlCrN (Reafiada)	0.36	0.38	0.40	0.43	0.43	0.37

b)



	1	40	80	140
Mz AlCrN (Nova)	0.37	0.38	0.43	0.35
Mz AlCrN (Reafiada)	0.10	0.35	0.27	0.14

3.3 Análise Estatística dos Dados

Para análise estatística dos dados utilizou-se um planejamento fatorial clássico 2^k, com 2 níveis (ferramentas novas e reafiadas) e 3 fatores (velocidade de corte, revestimento e reafiação), apresentados na Tab. 2, gerando um planejamento fatorial de 2^3, para uma confiabilidade de 95%. As comparações foram realizadas com os valores de força no início da vida (com o intuito de eliminar a influência do desgaste) e no fim da vida. Os gráficos de Pareto permitem analisar a influência de um ou mais parâmetros e suas interações, simultaneamente, na força e no torque das ferramentas analisadas.

Os resultados obtidos com essa análise estatística são apresentados nas Fig. 7 e 8, através dos gráficos de Pareto gerados. Os gráficos de Pareto da Fig. 7, mostram que não ocorreu uma diferença significativa nos valores das componentes de força Fx, Fy e Fz, no início da vida da ferramenta, entre uma ferramenta nova e a reafiada. Ao analisar o torque (Mz), vide Fig. 7d, percebemos que os fatores velocidade de corte, reafiação e a interação entre estes, apresentaram influência significativa no torque da ferramenta de corte.

Pode ser observado nos gráficos gerados anteriormente que as Forças Fx e Fy tendem a aumentar de forma linear ao longo da vida, o que pode ser explicado pelo aumento do desgaste da ferramenta. É possível perceber que a variação que ocorre nas forças Fx e Fy, quando são aumentadas as velocidades de corte, não é muito significativa, uma possível explicação para este fenômeno é que, embora ocorra o incremento na taxa de remoção de material, que acaba por promover o aumento da força de corte, por outro lado, o aumento na temperatura do cavaco acarreta na diminuição

Copyright © 2015 ABCM

desta força, mantendo pequenas variações nos esforços gerados. O aumento da temperatura do cavaco gerado com o aumento da velocidade de corte, pode ter contribuído significativamente para a diminuição do torque.

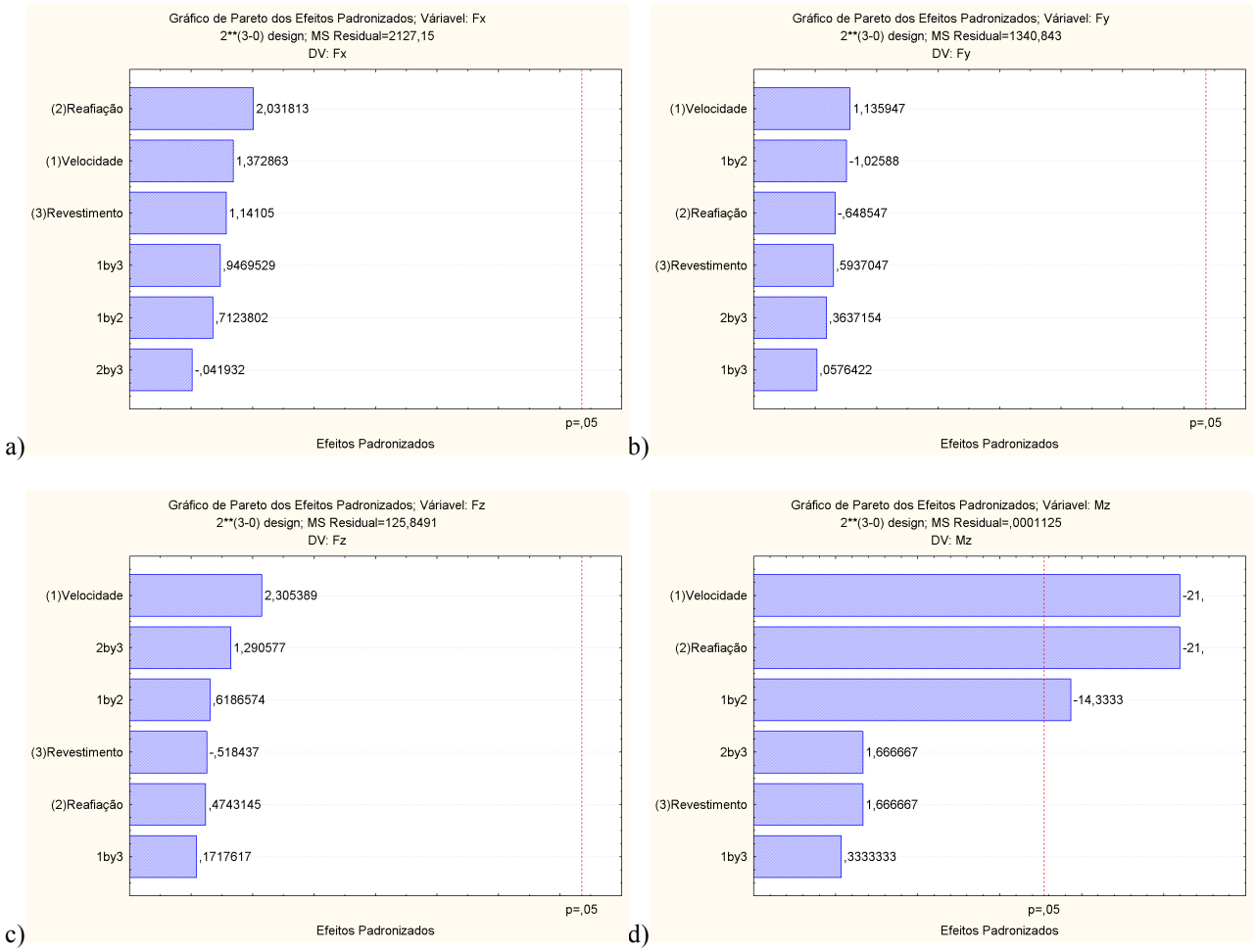
Outro fator importante que deve ser levado em consideração é a diminuição do diâmetro da ferramenta reafiada, que pode contribuir significativamente para a obtenção dos menores valores de torque na ferramenta reafiada.

A variação da força Fz não foi significativa nos testes realizados, mas podemos perceber pela Fig. 7c, que a velocidade de corte foi o fator mais influente para esta componente de força.

Tabela 2 – Níveis das variáveis de entrada.

Fatores	Níveis	
	-1	1
Velocidade	80 m/min	100 m/min
Reafiação	Nova	Reafiada
Revestimento	AlCrN	TiAlN

Figura 7 - Gráfico de Pareto para parâmetros de força no início da vida: Fx (a), Fy (b), Fz (c) e Mz (d).

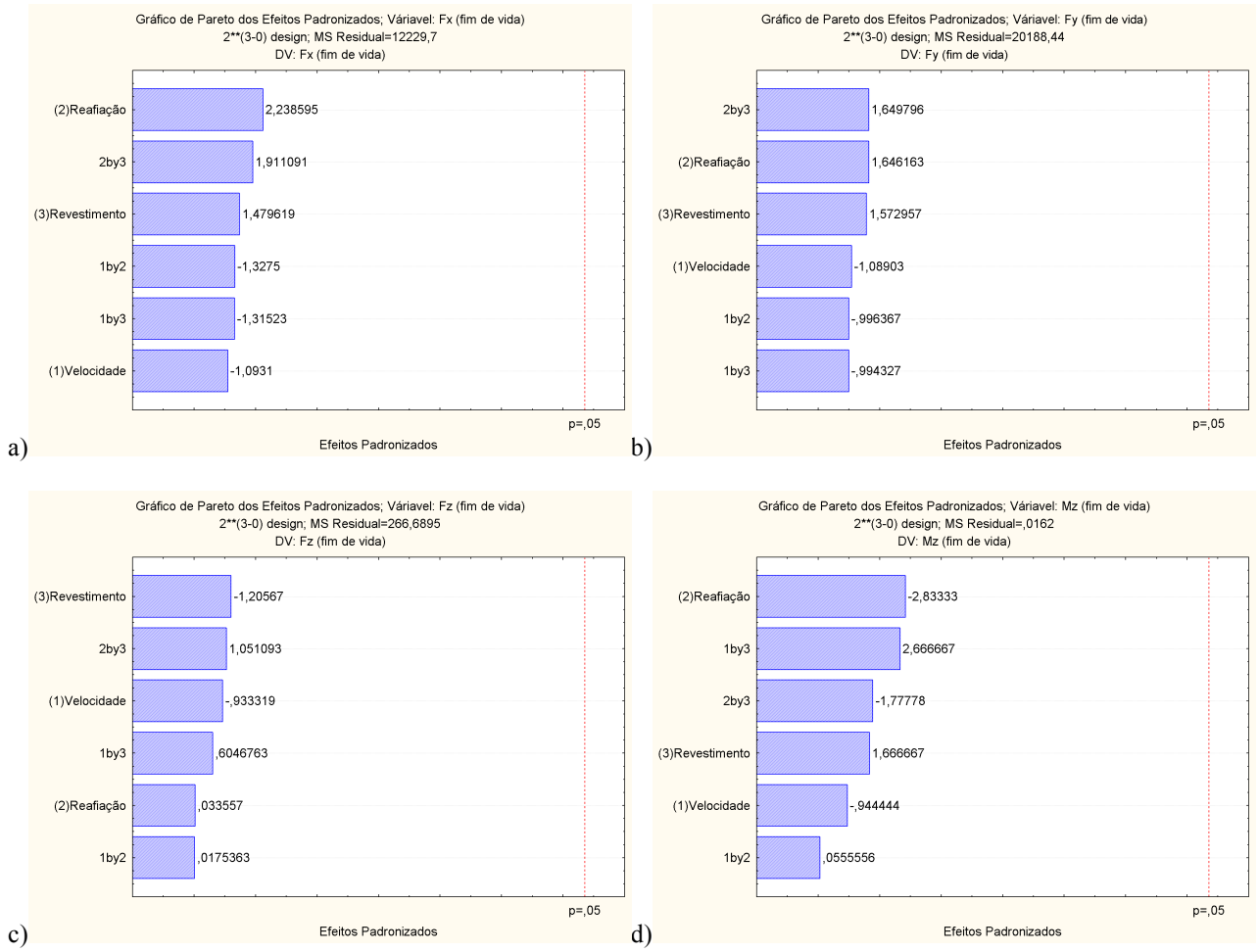


Os gráficos de Pareto apresentados na Fig. 8, não mostram nenhuma diferença significativa tanto nas componentes de força quanto no torque das ferramentas no fim de vida. Isso mostra que não houve nenhuma diferença significativa na força e no torque entre as ferramentas novas e reafiadas, mesmo com a influência do desgaste.

Analisando os gráficos de Pareto fica evidente que a reafiação e o revestimento foram os fatores que mais influenciaram nas componentes de força, enquanto que a reafiação foi o fator mais influente no torque.

Copyright © 2015 ABCM

Figura 8 - Gráfico de Pareto para parâmetros de força no fim de vida da ferramenta: Fx (a), Fy (b), Fz (c) e Mz (d).



4. CONCLUSÕES

- ✓ As forças de usinagem seguiram a tendência de aumentar ao longo da vida da ferramenta.
- ✓ Os maiores valores de força foram obtidos com a ferramenta revestida com TiAlN.
- ✓ De modo geral as forças obtidas com ferramenta reafiada foi ligeiramente superior a ferramenta nova.
- ✓ Estatisticamente não houve diferença significativa entre o desempenho de uma ferramenta nova para uma reafiada em relação aos dados de força obtidos.
- ✓ As ferramentas reafiadas apresentaram menores valores de torque em relação as novas.
- ✓ As ferramentas revestidas com TiAlN apresentaram maiores valores de torque.
- ✓ A análise estatística dos dados coletados mostrou que há uma variação significativa de desempenho entre as ferramentas novas e reafiadas em relação ao torque gerado no início da vida da ferramenta, com destaque para as ferramentas reafiadas que obtiveram menores valores de torque, o mesmo não se repetiu no fim de vida.
- ✓ No geral, podemos afirmar que as ferramentas reafiadas possuem desempenho similar ao de uma nova, para uma confiabilidade estatística de 95%.

5. AGRADECIMENTOS

À OSG Sulamericana de Ferramentas Ltda., nas pessoas dos Srs. Pedro Vaz, Rodrigo Katsuda e Coiti Fukushima, pelo fornecimento das ferramentas.

À Oerlikon Balzers Coatings do Brasil por fornecer os revestimentos utilizados nas ferramentas deste trabalho.

À Villares Metals, na pessoa do Sr. Celso Antônio Barbosa, pelo fornecimento do material VP20ISOF utilizado neste trabalho.

À CAPES, à FAPEG e ao CNPq pelo suporte financeiro.

Copyright © 2015 ABCM

6. REFERÊNCIAS

ÁVila, R. F. “Desempenho de Ferramentas de Metal Duro Revestidas com Ti-N, Ti-C-N e Ti- Al-N (PAPVD) no Torneamento do Aço ABNT 4340 Temperado e Revenido”. 2003. 152 f. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Ferraresi, D. “Fundamentos da Usinagem dos Metais”. Ed. Edgard Blucher Ltda. São Paulo, 1977, p. 751.

Groover, M. P. 2002. “Fundamentals of Modern Manufacturing, Materials, processes, and systems”. New Jersey: Ed. John Wiley & Sons.

Machado, Á. R. ; Abrão, A. M. ; Coelho, R. T. ; Da Silva, M. B. “Teoria da Usinagem dos Materiais”. 1. ed. São Paulo - SP: Edgard Blucher, 2009. v. 1. 371 p.

Moura, R. R.; Machado, Á. R. “Fresamento de Aço para Matrizes VP20ISOF com Ferramentas Reafiadas”. In: 7° Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 7° COBEF, 2013, Penedo – RJ. ABCM, 10p, 2013.

Oliveira, A. J., 2007. “Análise do Desgaste de Ferramentas no Fresamento com Alta Velocidade de Aços Endurecidos”. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Ribeiro, J. L. S.; Abrão, A. M.; Sales, W. F. “Forças de Usinagem no Fresamento de Aços para Matrizes”. In: 16 POSMEC- Simpósio de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, 2006, Uberlândia. anais do 16 POSMEC, 2006.

Trent, E. M., Wright, P.K., 2000, “Metal Cutting”, 4th Edition, Butterworth Heinemann. São Paulo, 1981. 751p.

7. DIREITOS AUTORAIS

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

Os trabalhos escritos em português ou espanhol devem incluir (após direitos autorais) título, os nomes dos autores e afiliações, o resumo e as palavras chave, traduzidos para o inglês e a declaração a seguir, devidamente adaptada para o número de autores.