

INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DE CORTE NA FORÇA DE USINAGEM DE FRESAMENTO DE ROSCA POR INTERPOLAÇÃO EM AÇO AISI H13 ENDURECIDO

Souza, Fábio Ricardo de Oliveira de, fabio.souza@senairs.org.br¹
Souza, Dilson José Aguiar de, daguiar@unisininos.br²

¹Centro Tecnológico de Mecânica de Precisão - SENAI - CETEMP, BR116 3239 - São Leopoldo, RS, Brasil, CEP: 93025000.

²Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS - Av. Unisininos, 950 - São Leopoldo, RS, Brasil, CEP: 93022000.

Resumo: *O foco deste estudo está na verificação da força de usinagem com a variação da velocidade de corte. O processo utilizado foi o fresamento de rosca interna por interpolação e o material escolhido foi o aço AISI H13 endurecido com 48HRC. As condições de corte escolhidas foram de usinagem em alta velocidade (HSC), no qual existe a necessidade de um sistema rígido com capacidade de medir com alta frequência de aquisição. Para a realização dos ensaios, como consequência, foi elaborada uma metodologia com a utilização de um dinamômetro de quartzo, que mede as componentes da força de usinagem em um dado sistema de coordenadas, sendo que as propriedades piezoelétricas do quartzo atendem plenamente esta condição. Verificou-se uma redução da média da força de usinagem para a condição de gume novo nas velocidades de corte mais altas. A fase inicial do ensaio confirma estudos, para o qual a utilização da tecnologia de usinagem em alta velocidade (HSC) deve promover uma redução da força de usinagem com o aumento da velocidade de corte. Para as velocidades de corte mais elevadas o desgaste evoluiu mais rapidamente. Com a evolução do desgaste de cada inserto, os valores de força de usinagem se igualaram após o terceiro metro de corte, sendo que a curva para a velocidade de corte mais alta incrementou a força de usinagem uma taxa de crescimento maior que a taxa de crescimento das velocidades de corte mais baixas, comprovando também que, o incremento da velocidade de corte promove o aumento do desgaste da ferramenta que consequentemente aumenta a força de usinagem (F_u).*

Palavras-chave: *fresamento de rosca, força de usinagem, usinagem em alta velocidade.*

1. INTRODUÇÃO

Na área de usinagem surgem algumas tendências, como a não utilização de refrigeração, utilização de mínima lubrificação por névoa, aplicação de altas velocidades de corte, usinagem de materiais endurecidos e obtenção de alta precisão (Schützer, 2003b).

Para os fabricantes de ferramentas a crescente procura na usinagem de peças endurecidas vem crescendo de forma considerável. Na indústria automotiva e construção de moldes, matrizes e máquinas vêm crescendo a usinagem de peças com essas características (Bauco, 2003). Em processo de fabricação por remoção de cavacos, um endurecimento considerável está entre 43 e 63 HRC. Neste caso deve-se considerar que as ferramentas empregadas devem possuir resistência térmica e ao desgaste, assim como suportar a forças de corte (Gamarra, 2003).

O fresamento de rosca por interpolação é uma alternativa para realizar as mesmas funções do rosqueamento com machos, ainda com vantagens em processo e em desempenho.

O presente trabalho propõe verificar a variação da força de usinagem e do desgaste em função do incremento da velocidade de corte em processo de fresamento de rosca por interpolação. Os objetivos estão detalhados nos próximos tópicos, mas cabe ressaltar etapas importantes do estudo, desde a definição da tecnologia de usinagem, métodos de ensaio e medições diretas e indiretas da variação desses dois parâmetros em função da velocidade de corte, em todos os casos empregando fresamento de rosca por interpolação.

Conforme Trent (2000), o incremento da velocidade de corte no fresamento de rosca tende a um aumento do desgaste da ferramenta que consequentemente aumenta a força de usinagem (F_u). O conceito de utilização da tecnologia de usinagem em alta velocidade (HSM) deve, segundo Schützer (2003), promover uma redução da força de corte com o aumento da velocidade de corte.

A proposta de ensaios para este caso teve como finalidade avaliar a influência da velocidade de corte (v_c) sobre a força de usinagem (F_u) ao longo do desgaste da ferramenta utilizada, segundo critério de estágio de desenvolvimento do desgaste de flanco (VB), cortando uma rosca em um corpo de prova de aço AISI H13 temperado e revenido com 45 a 48 HRC de dureza, com dez furos e cada furo com aproximadamente um metro de comprimento de corte.

2. DESENVOLVIMENTO

O fresamento de roscas é um método de corte que utiliza uma fresa com dentes no formato do padrão da rosca a ser usinada. Fresas para esta aplicação podem ser de corte único ou de cortes múltiplos (ASM Handbook, 1995).

Podem ser usados em um método convencional ou planetário. Usualmente o processo convencional é aplicado para roscas externas em peças cilíndricas, Fig. (1), lado esquerdo. No método planetário, Fig. (1), lado direito, a ferramenta realiza um movimento helicoidal e pode ser aplicado em geometrias internas ou externas em qualquer tipo de peça, dependendo fundamentalmente da tecnologia do processo. Parafusos e furos roscados podem ser feitos com alta precisão, baixa rugosidade e com mais de uma entrada (ASM Handbook, 1995).

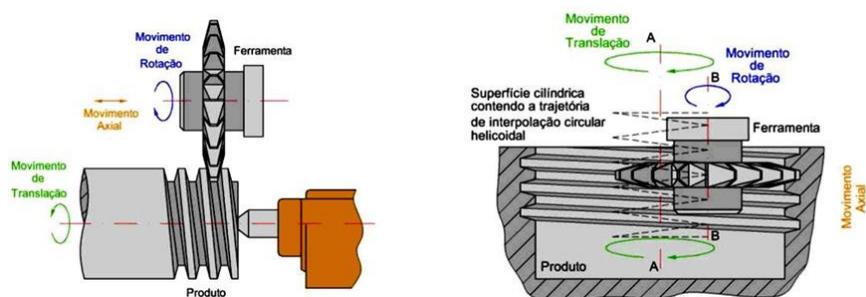


Figura 1. Método Convencional e Planetário, adaptado de ASM Handbook (1995).

Os experimentos foram planejados para o uso da tecnologia de medição por piezeletricidade, cujo equipamento, uma plataforma de medição de quatro componentes *Kistler*, Tipo 9273 foi fixado a uma máquina HSM *HERMLE*® C30U *Dynamic*.

A proposta de ensaios limitou-se a avaliar a influência da velocidade de corte (v_c) sobre a força de usinagem (F_u) ao longo do desgaste da ferramenta utilizada, cortando uma rosca em um corpo de prova de aço AISI H13 temperado e revenido entre 45 e 48 HRC de dureza, com dez furos e cada furo com aproximadamente um metro de comprimento de corte.

2.1. Arquitetura do Sistema Experimental

A arquitetura do sistema experimental de medição de forças em fresamento é um conjunto de instrumentos e equipamentos compostos de: plataforma de medição de quatro componentes tipo 9273 (A), cabos de conexão blindados para sensores piezelétricos TNC/BNC, amplificadores de sinais tipo 5006 (B), cabos de conexão para amplificadores BNC/BNC, placa de conexão BNC/C100FF-X (C), placa de aquisição e conversão de sinais A/D PCI-DAS1000 (D), computador (E) e programa *TracerDAQ's*® para apresentação de resultados (F), Fig. (2).

O sistema de medição é aplicado no Laboratório de Ensaios de Usinabilidade no Núcleo de Desenvolvimento Tecnológico do SENAI – CETEMP, para realizar ensaios de fabricação por remoção de material em torno CNC e centro de usinagem HSM 5 eixos.

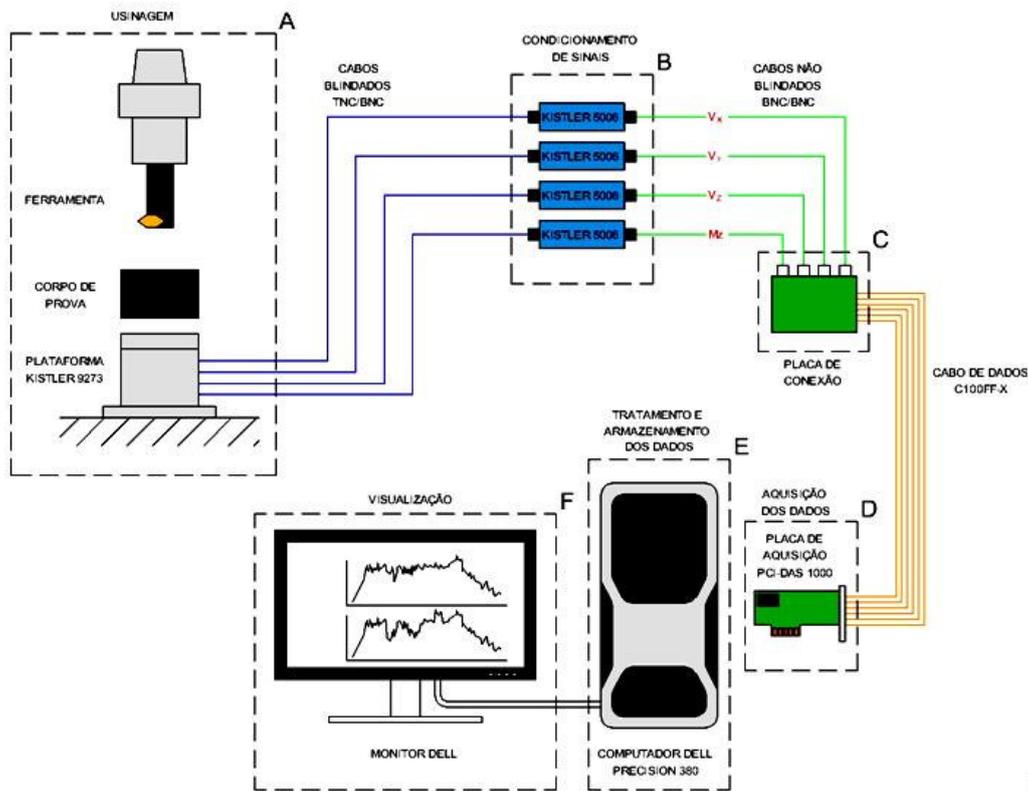


Figura 2. Arquitetura do Sistema Experimental.

2.2. Máquinas e Acessórios

A parte experimental de usinagem foi realizada em um centro de usinagem HSM *HERMLE*[®] *C30U Dynamic*, Fig. (3), de 5 eixos simultâneos.

O curso de deslocamento da máquina possui capacidade na direção X de 650 mm, Y de 600 mm e Z de 500 mm, velocidade máxima de deslocamento de 60.000 mm/min, aceleração de 17 m/s² e força de avanço de 8500 N. Acionamento da ferramenta com potência de 15 kW e rotação máxima de 18.000 rpm. Comando *Siemens*[®] *804D* e capacidade para 32 posições no magazine. Tolerância de posição T_p no eixo X-Y-Z conforme VDI/DGQ 3441 de 0,008 mm.



Figura 3. HSM 5 eixos *HERMLE*[®] *C30 Dynamic*, computador e amplificadores.

A plataforma de medição modelo *Kistler* tipo 9273, apresentada na Fig. (4), possui células de quartzo para a medição das componentes da força de usinagem. Este sistema é um equipamento de medição rígido, de alta frequência natural de ressonância com 3kHz, onde mudanças muito rápidas de força podem ser medidas. Possui as sensibilidades nos canais X=-3,92 pC, Y= -3,94 pC e Z=-1,874 pC, histerese $\leq 1\%$ e linearidade $\leq \pm 1\%$ da escala de aplicação (*Kistler*, 1979).

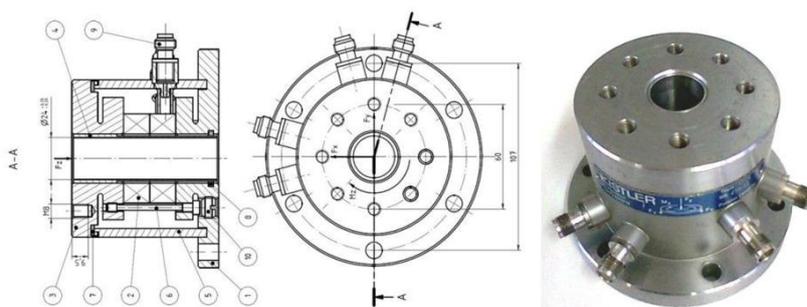


Figura 4. Plataforma para a medição de quatro componentes - tipo 9273.

2.3. Corpo de Prova

O método utilizado foi de definir um corpo de prova com as dimensões ideais para possibilitar a medição das componentes da força de usinagem. Este corpo de prova foi projetado para possibilitar a usinagem de dez furos roscados, sendo cinco de cada lado, Fig. (5).



Figura 5. Corpo de Prova

As medidas externas foram definidas conforme diâmetro máximo e a altura máxima de medição (50 mm) da plataforma. A fixação foi projetada para atuar de forma simétrica e possibilitar que pelo menos dois parafusos estivessem contornando cada furo. Foram utilizados quatro parafusos DIN 4762 M8x45 para fixar o corpo de prova à plataforma. O diâmetro do furo foi definido em função do comprimento de corte desejado. Desenvolvendo a rosca tem-se aproximadamente 1.000 mm de comprimento de corte útil por furo para um diâmetro M26 com passo de 1,5 mm e profundidade de 20 mm.

O material escolhido Aço AISI H13 corrida 12301599 e lote F52618 foi fornecido com medidas em bruto de $\varnothing 88,9 \times 50$ mm e dureza entre 45 e 48 HRC. A fabricação dos corpos de prova foi realizada diretamente no material endurecido utilizando o centro de usinagem.

2.4. Ferramenta de Fresamento

A ferramenta definida para o ensaio foi um inserto *EMUGE*[®] tipo G628 código GF643107.9514, Fig. (6), utilizado para o fresamento de rosca por interpolação interna aplicado para usinagem de aço endurecido de 45 HRC a 66 HRC. A geometria da ferramenta possui quatro dentes, ângulo de quina (ϵ) de 60° , ângulo de folga (α) de 0° , ângulo de inclinação da aresta (λ) de 15° , comprimento de 9,52 mm e largura de 6,36 mm e espessura de 3,2 mm. As medidas foram realizadas no microscópio *ZEISS Stemi SV6*.

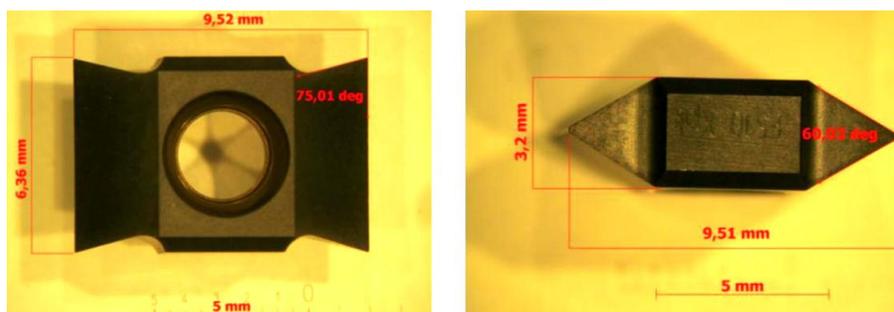


Figura 6. Inserto EMUGE[®] G690 código GF643107.9514.

O substrato segundo informações recebidas do fabricante é similar ao K20F. O revestimento de TiAlN-T4 é uma cobertura monocamada com 3300 HV 0,05 de dureza e temperatura máxima de serviço de 900 °C . Utilizada para passos variando de 1,5 mm a 2,5 mm. O furo central possibilita a fixação no suporte com parafuso M2,5 x 7 TX7 código GZ349011 (Emuge, 2005).

O suporte foi usinado no mesmo centro de usinagem utilizado de acordo com as dimensões do suporte *EMUGE® Gigant*, tipo G687, código GZ341040 e de informações recebidas da *EMUGE®*. A fixação do inserto no suporte por parafuso, ângulo de posição (χ_r) de 60°, ângulo de folga efetivo (α_r) de 0° e ângulo de inclinação efetivo da aresta (λ_r) de -5°, Fig. (7), lado esquerdo. O suporte foi montado em um conjunto com pinça e fixado com o *PowRgrip®*, Fig. (7), lado direito.

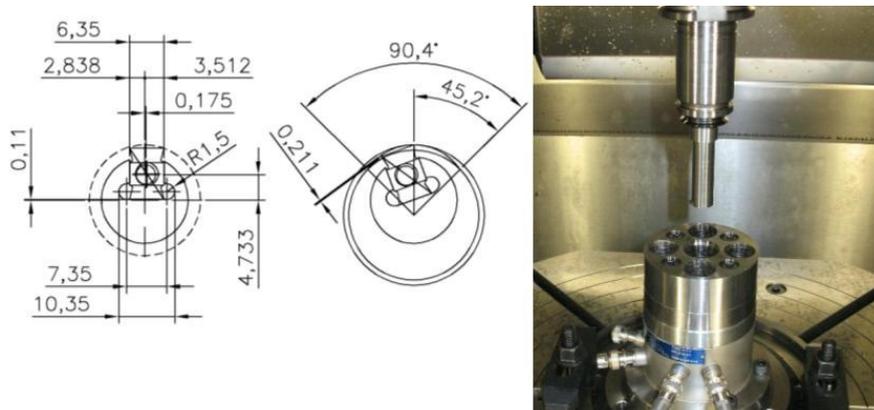


Figura 7. Suporte

2.5. Método de Avaliação da Força de Usinagem com Variação da Velocidade de Corte

Para a avaliação da variação força de usinagem com a velocidade de corte os fatores controláveis dos experimentos foram calculados em função dos parâmetros Tab. (1), os quais foram retirados do catálogo Emuge (2005).

Tabela 1. Parâmetros escolhidos para os ensaios e análise

Parâmetros	Valores escolhidos		
Velocidade de Corte (v_c) [m/min]	150	250	300
Diâmetro da ferramenta [mm]	20	20	20
Avanço (f_z) [mm/z]	0,1	0,1	0,1
Largura de corte (a_e) [mm]	0,81	0,81	0,81
Profundidade de Corte a_p [mm]	1,5	1,5	1,5
Meio Lubrificante	Corte a seco	Corte a seco	Corte a seco

As três velocidades de corte 150 m/min, 250 m/min e 300 m/min, sendo as duas primeiras recomendadas pelo fabricante do inserto escolhido e a última 20% acima do máximo recomendado pelo catálogo, foram utilizadas para avaliar se existe uma redução da força de usinagem com o incremento da velocidade de corte.

A linguagem CNC escolhida foi à programação via *Shopmill* do comando *Siemens® 840D*. A seqüência de trabalho do programa obedece à seqüência abaixo. Para as orientações a Fig. (8) deve ser consultada.

- Colocar um pino guia no furo central da plataforma de medição;
- Posicionar o corpo de prova na plataforma piezelétrica com o lado A para cima e centralizar com o pino guia;
- Fixar com quatro parafusos M8 x 45 mm;
- Fechar as portas da máquina;
- Alinhar o programa criado com os furos utilizando o apalpador *Heidenhain* para os zeros peça: G54, G505, G506, G507 e G508;
- Chamar o programa para a $v_c = 150$ m/min e realizar as medições;
- Após o quinto furo soltar o corpo de prova;
- Posicionar o corpo de prova na plataforma piezelétrica com o lado B para cima e centralizar com o pino guia;
- Repetir os itens “c”, “d”, “e”, “f” e “g”;
- Trocar o corpo de prova e repetir os itens de “a” até “i” para três ensaios com $v_c = 150, 250$ e 300 m/min, lembrando de que existe um programa do *Shopmill* para cada velocidade de corte.

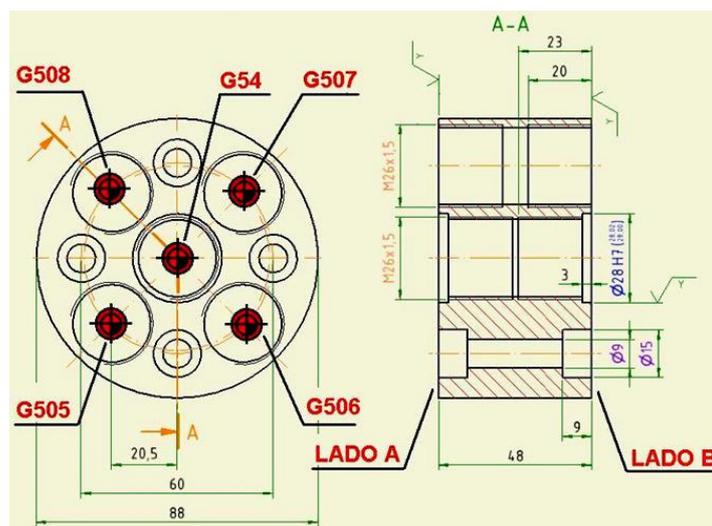


Figura 8. Codificação de zero peça para os corpos de prova

Os códigos dos artigos realizados são apresentados na Fig. (9).

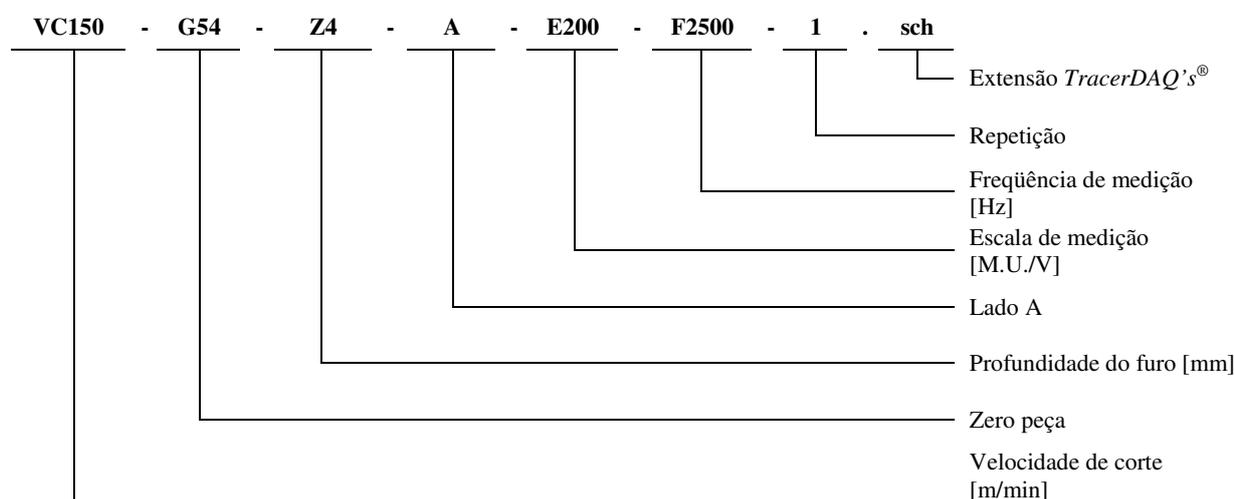


Figura 9. Codificação dos arquivos salvos no TracerDAQ's®

Os valores dos parâmetros necessários para os programas CNC criados, assim como os ajustes de valores de segmentação de sinal, são detalhados na Tab. (2).

Tabela 2. Segmentação de sinal

Parâmetros	Valores escolhidos e calculados		
Velocidade de Corte (v_c) [m/min]	150	250	300
Número de rotações [rpm]	2387	3978	4774
Velocidade de avanço (v_f) [mm/min]	238,7	397,8	477,4
Frequência (f) [Hz]	39,78	66,30	79,57
Intervalo de pontos – constante	32.000	32.000	32.000
Ângulo de fase do fresamento (ϕ) [°]	45	45	45
Número de pontos (Pz) – constante	7	7	7
Taxa de amostragem para corte intermitente (Tz)	0,0004	0,00025	0,00025
Filtro de software passa-baixas [Hz]	2500	4000	4000

Na Figura (10) segue exemplo de medida, suprimido os canais F_z e M_z . Na ilustração, são apresentados os canais F_x (verde-CH0) e F_y (azul-CH1).

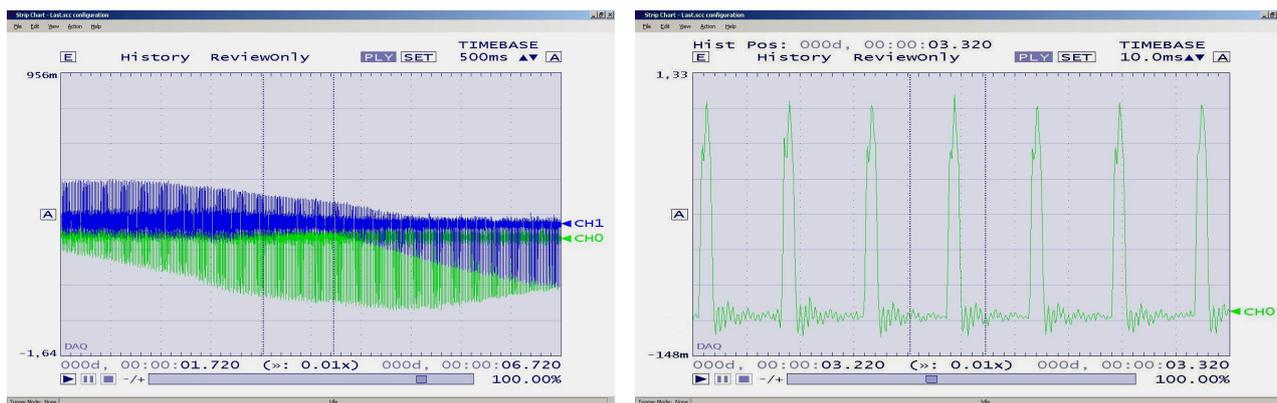


Figura 10. Canais F_x (verde) e F_y (azul).

3. RESULTADOS

Considerando as condições de corte HSC o primeiro resultado foi que a utilização dos dinamômetros de quartzo permitiu a medição em alta frequência de aquisição de pontos. Outra vantagem da utilização dos elementos de quartzo foi a sensibilidade somente para a pressão ou somente para o cisalhamento em um eixo, o que facilitou o cálculo do vetor F_u instantâneo a partir da captura das componentes em qualquer ponto do volume de medição da plataforma piezelétrica. Assim as componentes individuais da força foram medidas diretamente e a separação mecânica das componentes não foi necessária.

Em uma outra análise foram capturadas as componentes da força de usinagem e calculados os valores médios de cada repetição e após isto o valor da média das médias das três repetições de cada velocidade de corte. Com esses valores foram construídas três tabelas e três gráficos para visualização e análise dos resultados. Após foram comparados os valores capturados ao longo do desgaste em cada furo de cada gume ensaiado

Em uma última análise foi construído o gráfico da variação da força de usinagem com as três velocidades de corte escolhidas para os ensaios. Para ilustrar a condição final de cada inserto, os mesmos foram ampliados com o uso de microscópio eletrônico de varredura.

3.1. Variação da Força de Usinagem

Os dados das componentes F_x , F_y e F_z , foram capturados com a utilização da arquitetura experimental citada anteriormente no item 2.1. Para o cálculo da resultante, que equivale a F_u instantânea foi utilizada a Eq. (1).

$$F_u = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \quad (1)$$

O valor de M_z instantâneo não foi utilizado para obter qualquer resultado desta análise, entretanto foi constantemente medido para que se verificar qualquer excesso de carga que poderia prejudicar o ensaio ou distorcer os resultados. Mais informações sobre a verificação de carregamentos podem ser obtidas diretamente nos manuais do fabricante *Kistler*.

Como para cada velocidade de corte realizou-se o número de três repetições, no total de nove corpos de prova, foi necessária uma análise estatística dos dados adquiridos. Neste estudo são apresentados apenas o resultado da média das médias de um conjunto de valores de força de usinagem de uma volta de rosca, tomadas a cada furo usinado, em cada uma das três repetições e para cada velocidade de corte. Os resultados foram salvos em arquivos com a extensão “.sch” nativos do *software TracerDAQ's®*. Após isto foram exportados para o programa *Microsoft Excel®* e calculados os devidos valores médios sobre os picos das curvas.

Com a utilização do sistema experimental de medição, através do microscópio *Zeiss Stemi SV6* pode-se verificar a presença de apenas um tipo de desgaste em todos os ensaios, sendo ele o desgaste de flanco.

Segundo Ferraresi (1977) o acréscimo da velocidade de corte causa uma sensível variação na energia específica de corte. O autor atribui este acréscimo ao aumento da temperatura na zona de corte.

Analisando a Figura (11) verifica-se que a taxa de incremento da força de usinagem se assemelha ao modelo de evolução do desgaste de Trent (2000). As fases do desgaste podem ser claramente identificadas como na fase I, onde há um rápido aumento inicial da força seguido por um aumento fixo em taxa constante, denominada de fase II. No momento em que o desgaste alcança determinado valor, a taxa de crescimento da força aumenta conduzindo a falha da ferramenta na fase III. Para a velocidade de corte menor $v_c = 150$ m/min a taxa de incremento da fase II é mais constante. No caso da $v_c = 300$ m/min a fase II é caracterizada por um ponto de inflexão e a taxa de crescimento da

força de usinagem passa de um valor decrescente para crescente. A resolução de medição com auxílio da arquitetura experimental do sistema de medição possibilitou diferenciar a evolução da força ao longo de cada milímetro usinado.

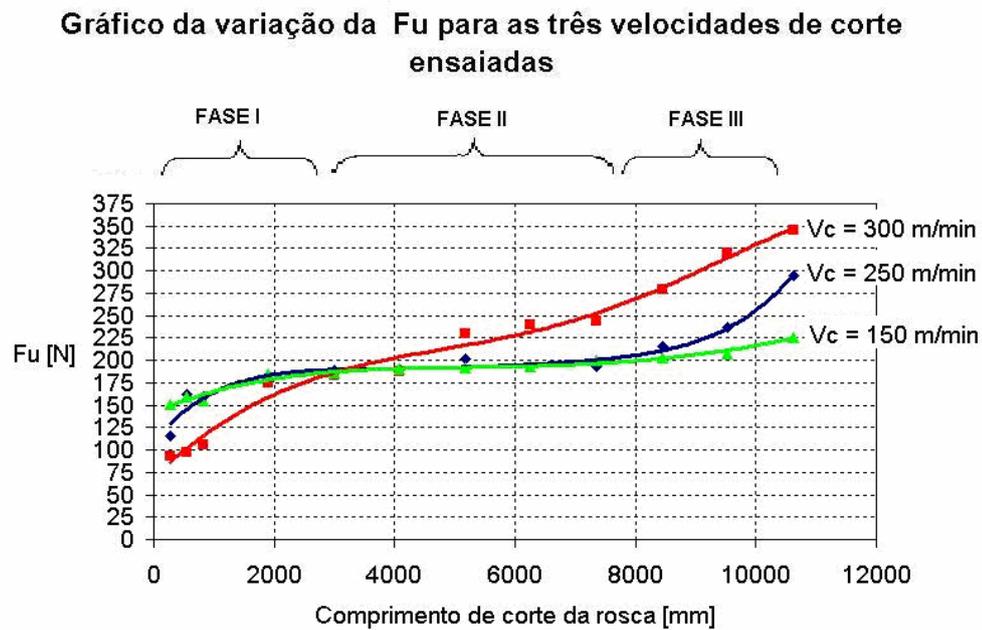


Figura 11. Gráfico para comparação da variação da F_u

As forças de usinagem das três velocidades de corte ensaiadas, sendo duas recomendadas pelo fabricante do inserto escolhido e uma 20% acima do máximo recomendado pelo catálogo podem agora ser comparadas. Verifica-se uma redução da média das forças de usinagem para a condição de gume novo no início do ensaio, primeiro metro de corte, nas velocidades de corte mais altas. A F_u para a $v_c = 250$ m/min foi 16% menor comparado com a F_u para a $v_c = 150$ m/min no início do ensaio. Com a evolução do desgaste de cada inserto os valores se igualaram após o primeiro metro de corte. A partir de seis metros de corte a curva para a $v_c = 250$ m/min incrementou a F_u uma taxa de crescimento maior que a taxa de crescimento da F_u para a $v_c = 150$ m/min.

A $v_c = 300$ m/min apresentou uma F_u 36% menor comparado com a F_u para a $v_c = 250$ m/min no início do ensaio. Com a evolução do desgaste de cada inserto os valores se igualaram após o terceiro metro de corte e a partir deste ponto a curva para a $v_c = 300$ m/min incrementou a F_u uma taxa de crescimento maior que a taxa de crescimento da F_u para a $v_c = 250$ m/min.

3.2. Ilustração dos Insertos

Para uma análise com maior definição os gumes foram ampliados no Microscópio Eletrônico de Varredura *Shimadzu SSX-550*. Nas Figuras (12), (13) e (14) pode-se verificar o desgaste de três insertos ensaiados, após os dez furos, nas velocidades de corte de 150, 250 e 300 m/min respectivamente. Com $v_c = 250$ m/min o inserto apresentou um desgaste de flanco significativo, Fig. (13), em comparação com a $v_c = 150$ m/min, Fig. (12). O desgaste da ponta para a $v_c = 150$ m/min foi o menos significativo dos três gumes analisados.

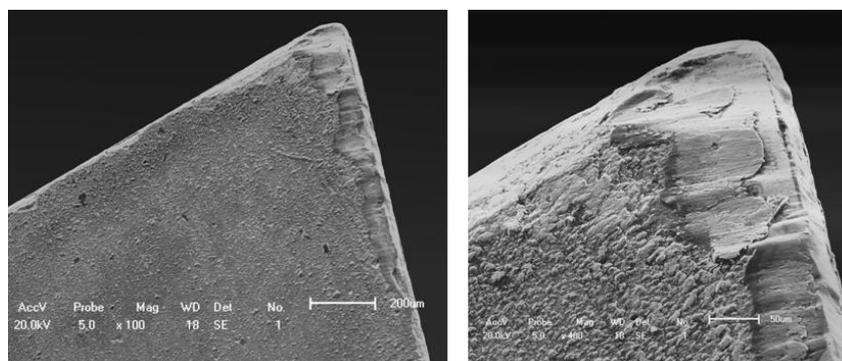


Figura 12. Desgaste de flanco $v_c = 150$ m/min.

Com $v_c = 250$ m/min o desgaste de flanco (VB_B) tem a mesma proporção que para $v_c = 300$ m/min, entretanto o desgaste da ponta é mais significativo que para a $v_c = 150$ m/min. Com $v_c = 300$ m/min o desgaste da ponta da ferramenta, após a usinagem dos dez furos, é acentuado conforme pode ser observado na Fig. (14).

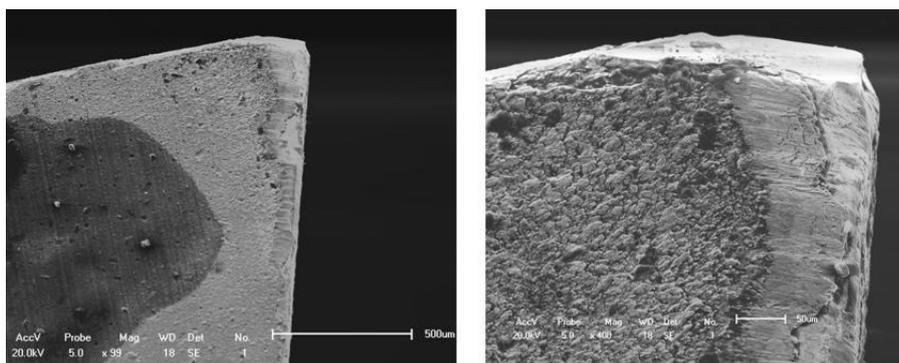


Figura 13. Desgaste de flanco, $v_c = 250$ m/min.

A deterioração da ponta para $v_c = 300$ m/min se deve à elevada temperatura e caracteriza um desgaste abrasivo. Este fenômeno explica o aumento da taxa de incremento da F_u na Fig. (12). Isto quer dizer que o incremento da velocidade de corte em 20% do máximo recomendado, ou seja, de 250 m/min para 300 m/min provocou um nível de desgaste maior que o incremento de 66% da velocidade de corte de 150 m/min para 250 m/min.

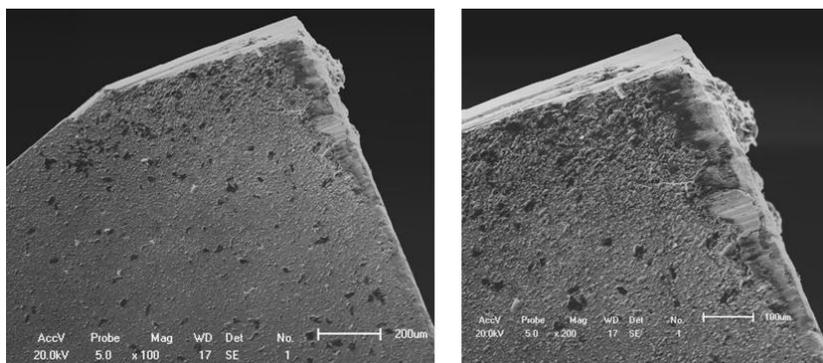


Figura 14. Desgaste de flanco, $v_c = 300$ m/min.

A deterioração do gume para a Fig. (14) impede que o mesmo seja aplicado devido à alteração do perfil de crista da norma DIN 13 para a rosca selecionada.

5. CONCLUSÃO

Considerando que o processo HSC necessita de sistemas rígidos de fixação devido às altas velocidades de corte e conseqüentemente às altas velocidades angulares de giro da ferramenta, para medir as componentes F_x , F_y e F_z e obter o vetor resultante F_u existe a necessidade de alta frequência de aquisição de pontos.

O material aplicado ao estudo foi o aço AISI H13 temperado e revenido entre 45 e 48 HRC. Após a definição do corpo de prova e da metodologia dos ensaios e devido à rastreabilidade de todas as etapas pode-se concluir que o processo é confiável e os dados são válidos para aplicação prática.

O foco deste estudo foi à verificação da força de usinagem em três velocidades de corte. Verificou-se uma redução da média da força de usinagem para a condição de gume novo nas velocidades de corte mais altas. A F_u para a $v_c = 250$ m/min foi 16% menor comparado com a F_u para a $v_c = 150$ m/min no início do ensaio, FASE I. Entretanto com a evolução do desgaste de cada inserto os valores se igualaram após o primeiro metro de corte. A partir de seis metros de corte a curva para a $v_c = 250$ m/min incrementou a F_u uma taxa de crescimento maior que a taxa de crescimento da F_u para a $v_c = 150$ m/min, FASE II. Analogamente a $v_c = 300$ m/min apresentou uma F_u 36% menor comparado com a F_u para a $v_c = 250$ m/min no início do ensaio. Com a evolução do desgaste de cada inserto os valores se igualaram após o terceiro metro de corte sendo que a curva para a $v_c = 300$ m/min incrementou a F_u uma taxa de crescimento maior que a taxa de crescimento para a $v_c = 250$ m/min desde o início do ensaio. Com $v_c = 300$ m/min o desgaste da ponta da ferramenta, após a usinagem dos dez furos, é acentuado ao ponto de se tornar uma falha crítica, FASE III.

Para as velocidades de corte mais elevadas o desgaste evolui mais rapidamente. Atribui-se o fenômeno do incremento mais acelerado da força de usinagem das velocidades de corte maiores à mudança da geometria do gume causada pelo desgaste de flanco no inserto.

O início do ensaio confirma os estudos de Schützer (2003), no qual a utilização da tecnologia de usinagem em alta velocidade (HSC) promove uma redução da força de usinagem com o aumento da velocidade de corte. Ao mesmo tempo a situação se inverte com o desgaste da ferramenta, confirmando Trent (2000), onde o incremento da velocidade de corte promove o aumento do desgaste da ferramenta que conseqüentemente aumenta a força de usinagem (Fu).

4. REFERÊNCIAS

- ASM International: “The Materials Information Society. ASM Handbook: Machining”, 9ed. USA: ASM International, 1995. Vol. 16, 1089 p.
- Bauco, S. A. “High speed machining na indústria de moldes e matrizes”, In: SANTOS, Aldeci Vieira dos et al. Usinagem em altíssimas velocidades: como os conceitos HSM/HSC podem revolucionar a indústria metal-mecânica. 2ed. São Paulo: Érica, 2003, pp. 111-124.
- Emuge - Werk Richard Glimpel GmbH & Co. KG. “Catálogo de ferramentas: tecnologia de roscagem, tecnologia de fixação”, Nürnberger Straße: EMUGE, 2005, 691 p.
- Ferraresi, D. “Fundamentos da Usinagem dos Metais”, São Paulo: Edgard Blücher, 1977, 796 p.
- Gamarra, J. R. “Características das ferramentas em HSM: fresamento, furação e faceamento”. In: SANTOS, Aldeci Vieira dos et al. Usinagem em altíssimas velocidades: como os conceitos HSM/HSC podem revolucionar a indústria metal-mecânica. 2ed. São Paulo: Érica, 2003, 94-110 p.
- Kistler Instrumente AG. “Measure cutting forces?: no problem with quartz multi-component dynamometers”, Winterthur: Kistler, 1979.
- Schützer, K.; Schulz, H. “Tendências futuras da usinagem com altíssima velocidade”, In: SANTOS, Aldeci Vieira dos et al. Usinagem em altíssimas velocidades: como os conceitos HSM/HSC podem revolucionar a indústria metal-mecânica. 2ed. São Paulo: Érica, 2003, pp. 204-213.
- Trent, M. C.; Wright, P. K. “Metal Cutting Principles”, 4ed. Butterworth-Heinemann: [s.n.], 2000.

1. DIREITOS AUTORAIS

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



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

INFLUENCE OF CUTTING SPEED IN THE MACHINING FORCE OF THREAD MILLING FOR INTERPOLATION IN AISI HARDENED H13 STEEL

Souza, Fábio Ricardo de Oliveira de, fabio.souza@senairs.org.br¹
Souza, Dilson José Aguiar de, daguiar@unisininos.br²

¹Centro Tecnológico de Mecânica de Precisão - SENAI - CETEMP, BR116 3239 - São Leopoldo, RS, Brasil, CEP: 93025000.

²Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS - Av. Unisininos, 950 - São Leopoldo, RS, Brasil, CEP: 93022000.

Abstract. The focus of this study is to verify the machining force with the variation of cutting speed. The process used was the internal thread milling by interpolation and the material chosen was steel AISI H13 hardened to 48HRC. The cutting conditions were chosen for high-speed machining (HSC), in which there is a need for a rigid system with the ability to measure with high acquisition frequency. For the test, as a consequence, a methodology was developed with the use of a quartz dynamometer, which measures the components machining force in a given coordinate system, and the piezoelectric properties of quartz fully meet this requirement. There was a reduction of the average machining force for the condition of edged without wear into higher cutting speed. The initial phase of the test confirms studies, for which the use of technology for high speed machining (HSC) is to promote a reduction of the machining force with increasing cutting speed. For higher cutting speeds the wear increase more quickly. With the increment of wear of each insert, the cutting force values were equal after the third cut meters, and the curve to the highest cutting speed increased the machining force a growth rate higher than the growth rate of lower cutting speed, proving also that the increase of cutting speed promotes the increase of tool wear which consequently increases the machining force (F_u).

Keywords: *thread milling, machining force, high speed machining, high speed cutting.*