

DETERMINAÇÃO MECANÍSTICA DA PRESSÃO ESPECÍFICA DE CORTE NO MICRO FRESAMENTO DO AÇO SUPERDUPLEX 32750

Adriane Lopes Mougo^{1,2}
Fabio de Oliveira Campos²
Anna Carla Araujo²

¹Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Estrada de Adrianópolis, Nova Iguaçu – RJ

² Universidade Federal do Rio de Janeiro, Cidade Universitária, Centro de Tecnologia, COPPE, BL G, SL 204

Resumo: A pressão específica de corte, energia efetiva consumida para remover uma unidade de volume do material, pode ser utilizada também como índice de usinabilidade dos materiais e permite ampliar a compreensão do processo de corte. No micro fresamento, a pressão específica de corte é influenciada pelo efeito de escala, que trata principalmente da influência do raio da aresta de corte e da microestrutura do material micro usinado. Com a redução de escala, a aresta de corte tende a atravessar por um número reduzido de grãos durante uma rotação e, portanto, o mecanismo de formação do cavaco e a dinâmica de corte passam a ser influenciados também pela microestrutura combinada com a propriedade mecânica de cada fase do material. Dentre os materiais com microestrutura heterogênea, os aços duplex e superduplex são fortes representantes deste efeito devido à sua estrutura bifásica composta de ferrita e austenita que conferem a este aço alta resistência mecânica, resistência à corrosão e consequentemente pela sua baixa usinabilidade, devido ao encruamento. O objetivo deste trabalho é propor um modelo mecanístico para a determinação da força de corte dos aços superduplex 32750 como uma combinação da força específica de cada fase. Representando a fase austenítica, foram utilizadas as propriedades do aço inoxidável austenítico AISI 316 e, representando a fase ferrítica, o aço inoxidável ferrítico AISI 430. O procedimento de calibração foi realizado para dois níveis de velocidade de corte e seis níveis de avanço por dente, com a profundidade constante. Os resultados mostraram que o modelo heterogêneo pode simular o material pela composição entre as fases e que a partir dos coeficientes de calibração dos aços AISI 316 e AISI 430, o maior erro encontrado em relação aos valores experimentais foi de 23,5%.

Palavras-chave: micro fresamento, aço superduplex 32750, pressão específica de corte, equação mecanística

1. INTRODUÇÃO

O Efeito de escala em usinagem trata principalmente da relação entre o raio de arredondamento da aresta de corte (r_e) e a espessura do cavaco indeformado (t_c) e da microestrutura da peça. Como na micro usinagem t_c passa a ter a mesma magnitude de r_e , e muitas vezes $r_e > t_c$, o ângulo de saída da ferramenta (α) passa a ser negativo, gerando deformações plásticas na superfície da peça que irão comprometer seu acabamento e diminuir a vida útil da ferramenta de corte, como apresentada na Fig. (1).

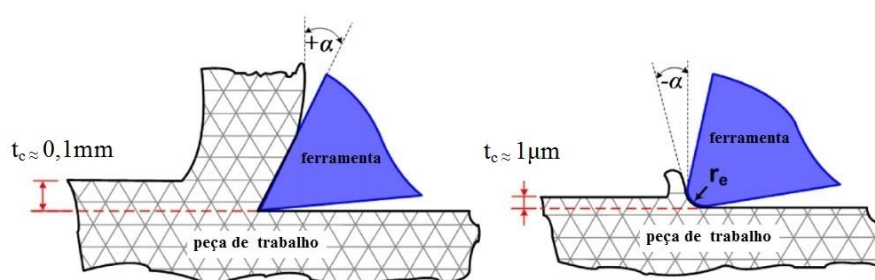


Figura 1. Relação entre o raio da aresta de corte (r_e) e a espessura do cavaco indeformado (t_c), adaptado de Aramcharoen e Mativenga (2009).

Somado a isto, para que ocorra a formação do cavaco, é necessário que t_c seja maior que uma espessura mínima para formação do cavaco (t_{cm}). Isto porque quando $t_c < t_{cm}$ o material é "empurrado" à frente da aresta de corte por um mecanismo conhecido por *ploughing* ou riscamento, que é um processo de conformação e não de usinagem (Ramos et al., 2012). Se $t_c \ll t_{cm}$ o cavaco não será formado e a superfície da peça será deformada elasticamente, recuperando sua forma após a passagem da ferramenta (Malekian et al., 2012 e Vogler et al., 2004). Deste modo, a atenção na micro usinagem deve ser voltada, no primeiro instante, à medição de r_e e à determinação de t_{cm} , seguida da seleção adequada dos parâmetros de corte.

A principal consequência do efeito de escala na fabricação por micro fresamento é o aumento das forças de corte com a diminuição de t_c (Vollertsen et al., 2009). O aumento destas forças ocorre pelo aumento da pressão específica de corte (K_t) que influencia na integridade da peça e no desgaste da ferramenta. Mian et al., (2011) afirmam que estes últimos fatores podem ser utilizados para identificação do efeito de escala em processos de micro usinagem.

Outra característica importante abordada no efeito de escala é a microestrutura da peça. Os primeiros trabalhos voltados à micro usinagem consideraram a microestrutura do material homogênea, investigando inicialmente a influência dos parâmetros de corte nas forças de corte e na formação do cavaco. No entanto, na micro usinagem a quantidade de material removido a cada passagem da aresta de corte pela superfície da peça é muito menor que na usinagem, sem alterar o tamanho dos grãos. Assim, se para o processo convencional a formação do cavaco compreende a união de vários grãos, no micro fresamento o cavaco pode ser composto de poucos grãos ou mesmo de um único grão, como mostrado na Fig. (2). Quando o corte ocorre dentro de um único grão, as tensões aplicadas à ferramenta são dependentes de vários fatores do material, como a orientação cristalográfica, polimorfismo e fases presentes, causando oscilações de alta frequência das forças de corte (Bissacco et al., 2006). Esta oscilação irá influenciar na performance do processo e no acabamento da peça.

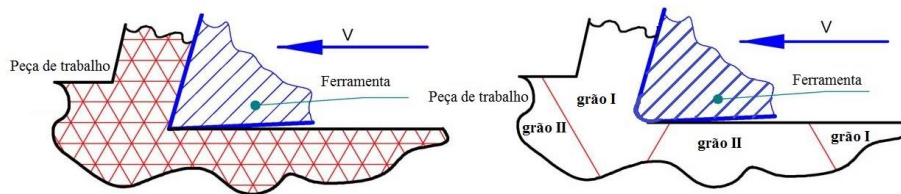


Figura 2. Percurso da ferramenta no material da peça para usinagem e micro usinagem, adaptado de Moronuki et al. (1994).

O material da peça pode ser analisado sobre diversas vertentes, como o diâmetro médio dos grãos, a orientação cristalográfica e as propriedades das fases presentes. Grande parte das peças miniaturizadas são fabricadas de materiais próprios à aplicação na área médica, biomédica e odontológica, como as ligas de titânio e materiais com memória de forma. No entanto, os aços em geral também vêm sendo estudados na micro usinagem pela sua microestrutura heterogênea e para ampliar seu campo de aplicação industrial.

Dentre os materiais citados, os aços inoxidáveis duplex e superduplex são fortes candidatos à micro fabricação, pois aliam excelente resistência à corrosão com altos valores de resistência mecânica devido sua microestrutura bifásica composta pelas fases ferrita e austenita (Pardal, 2012). Os aços inoxidáveis, duplex e superduplex, estão entre os materiais mais estudados pelos processos de usinagem. A principal razão para o uso destes aços é sua elevada resistência à oxidação, à corrosão e à corrosão sob tensão, associada às boas propriedades mecânicas, quando comparados aos aços carbono (Fonseca et al., 2008). Assim, torna-se importante conhecer as características microestruturais do material, suas propriedades mecânicas, a influência dos parâmetros e das condições de corte durante a micro usinagem.

No entanto, a dificuldade em simular a pressão específica de corte de um material com uma microestrutura heterogênea, como a encontrada no aço superduplex onde o dente passa ora por uma fase mais dúctil (ferrita) ora por uma fase mais frágil (austenita), motivou este trabalho a propor um modelo mecanístico para a determinação da força de corte dos aços superduplex 32750 como uma combinação da força específica de cada fase. Representando a fase austenítica, foram utilizadas as propriedades do aço inoxidável austenítico AISI 316 e, representando a fase ferrítica, o aço inoxidável ferrítico AISI 430. O procedimento de calibração foi realizado para dois níveis de velocidade de corte e seis níveis de avanço por dente, com a profundidade constante.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais das peças usinadas foram o aço inoxidável superduplex UNS S 32750, o aço inoxidável austenítico AISI 316, simulando a fase austenítica do superduplex, e o aço inoxidável ferrítico AISI 430, simulando a fase ferrítica do superduplex. Para a revelação da microestrutura do aço superduplex foi realizado o ataque eletroquímico com reagente composto de 20 g de NaOH e 100 ml de água destilada e para os aços austenítico 316 e ferrítico 430 foi utilizado o ataque químico a partir de uma solução de ácido oxálico. As microestruturas são apresentadas na Fig. (3).

A composição química de cada fase do aço superduplex e dos aços inoxidáveis 316 e 430 foi realizada por Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS) e são apresentadas na Fig. (4) e na Tab. (1). A micrografia do aço superduplex foi analisada pelo software *Image-Pro Plus* para quantificar a fração volumétrica de cada fase do material através do método de contraste de tonalidade. Os resultados mostraram que a fração volumétrica da fase ferrita foi de 52% e da fase austenita foi de 48%, distribuídas de modo equivalente.



Figura 3. Micrografia ótica dos aços inoxidáveis com aumento de 500x.

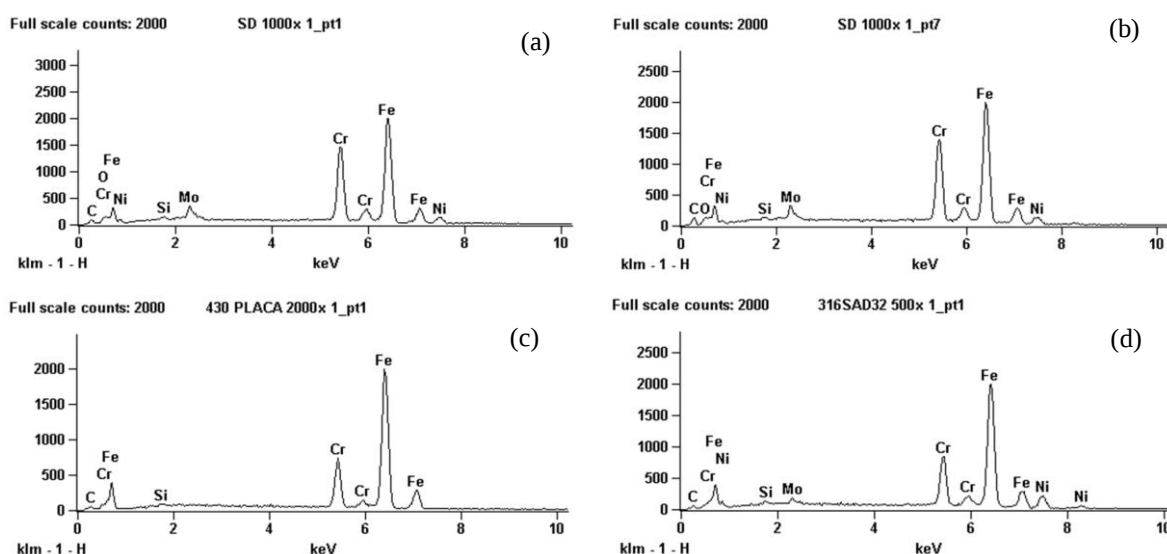


Figura 4. EDS das fases ferrítica (a) e austenítica (b) do aço superduplex e dos aços inoxidáveis ferrítico AISI 430 (c) e austenítico AISI 316 (d).

A partir do teste de nanodureza e nanoriscamento foi possível determinar as propriedades das fases e dos aços, como apresentadas na Tab. (1). Para esta etapa foi utilizado o nanoindentador da marca Agilent G200 Nanoindenter, com resolução de deslocamento < 0,01 nm e resolução de força de 50 nN. Para a nanodureza foi utilizada uma ponta de diamante Berkovich, com carregamento normal máximo de 1 mN e ciclo de simples carregamento com 15 s de duração cada.

Tabela 1. Resultado da composição química e das propriedades mecânicas das fases do aço superduplex e dos aços AISI 316 e AISI 430.

		AISI 316 (Austenítico)	AISI 430 (Ferrítico)	SD – Fase Austenítica	SD – Fase Ferrítica
Elemento químico em % peso (EDS)	% Fe	63.13	71.84	53.82	52.80
	% Ni	8.57	-	6.72	4.44
	% Cr	16.15	14.73	20.92	23.90
	% Mo	1.77	-	2.47	3.57
	% Si	-	0.33	0.30	0.37
Coeficiente de atrito		0.32	0.35	0.33	0.33
Recuperação Elástica (%)		12.59	9.27	17.57	13.95
NanoDureza (GPa)		4.51	4.02	6.20	7.0
Módulo de Young (GPa)		215.7	270.0	354.5	213.5

A máquina-ferramenta utilizada neste trabalho foi a microfresadora CNC Mini- Mill/GX da Minitech Machinery Coportation. O controle por Comando Numérico Computadorizado é realizado através do software Mach3Mill, que é um programa bastante flexível utilizado para controlar máquinas fresadoras ou similares. A rotação da ferramenta é realizada por um motor elétrico da marca Nakanish que possui rotação máxima de 60000 rpm refrigerado à ar

comprimido. As especificações técnicas desta máquina tratam do seu curso limite nas coordenadas x, y e z de 300 mm, 288 mm e 288 mm, respectivamente. A mesa para fixação das peças e/ou dispositivos sensoriais é de alumínio, com dimensão total de 152,4 x 444,5 mm. A fixação na mesa é realizada com parafusos 1/4-20 com distância entre centros de 2,54 mm.

O dinamômetro utilizado foi da marca Kistler do tipo MiniDyn 9256C2 com cabo de conexão do tipo 1967A. A faixa de trabalho deste dinamômetro nas três direções ortogonais é de -250 N à 250 N, com alta sensibilidade e frequência natural entre 4,0 à 4,8 kHz. A dimensão total do dinamômetro é 80 x 91 x 25 mm e sua área útil para piscionamento da peça é de 80 x 55 mm. O condicionamento dos sinais das forças de corte adquiridos com o minidinamômetro foi realizado com o auxílio de um amplificador de carga da marca Kistler modelo 5070A10100. Foi utilizada uma placa da National Instruments NI USB-6551 e o software LabView Signal Express 2012 para leitura do sinal digital. A frequência de aquisição do sinal de força foi de 40000 Hz. A montagem experimental e os detalhes da área útil do corpo de prova são apresentados na Fig. (5).

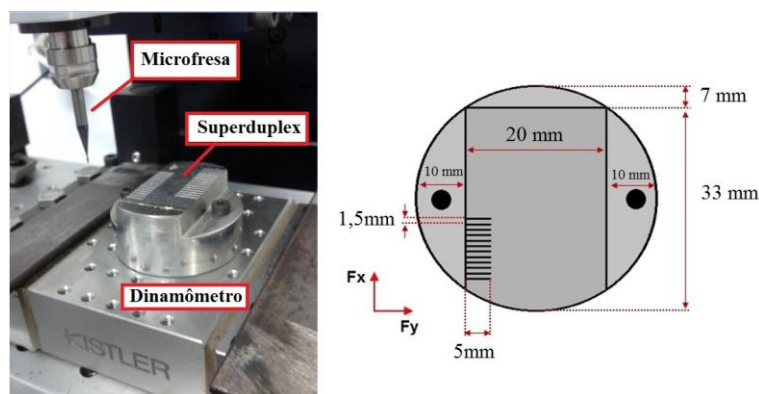


Figura 5. Montagem experimental para a micro usinagem do aço superduplex UNS S32750.

A ferramenta de corte utilizada nos experimentos foi uma microfresa inteiriça de metal duro com revestimento de nitreto de alumínio titânio (TiAlN-F) (E112F - Standard da Sandvik). Sua geometria consiste basicamente do diâmetro de 0,8 mm, 2 dentes de corte e diâmetro da haste de 4 mm. Esta ferramenta é indicada para usinagem de aços com dureza menor que 48 HRC, aços em geral, ferro fundido, cobre, níquel e titânio. As imagens e a determinação da composição química desta ferramenta foram realizadas com o auxílio do MEV/EDS (marca Zeiss DSM 940) e as medidas do raio da aresta de corte, do raio de ponta e do ângulo de hélice foram medidos com auxílio do *software Image J*, como apresentadas na Fig. (6).

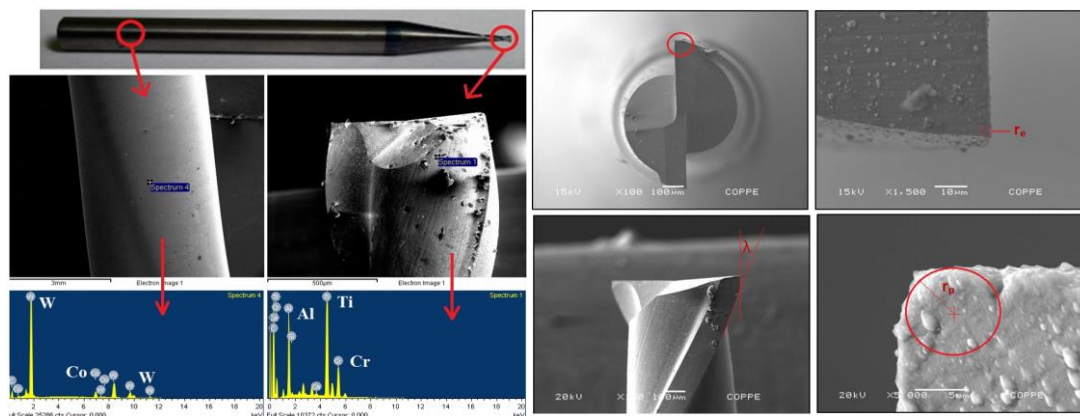


Figura 6. Composição química e medição dimensional da micro ferramenta de corte.

Os resultados da medição indicam que o raio da aresta de corte é aproximadamente 2,5 μm , o raio de ponta é 4 μm e o ângulo de hélice ficou em 30°. Estes valores são importantes para verificar o comportamento da pressão específica de corte (Kt) durante o micro fresamento.

A seleção dos parâmetros de corte fixos e variáveis foi realizada em função dos objetivos deste trabalho. Os parâmetros fixos foram a profundidade, a largura e o comprimento de corte. Os parâmetros variáveis foram a velocidade de corte e o avanço por dente. A seleção da velocidade de corte (V_c) foi baseada no Guia de usinagem de aços inoxidáveis da International Molybdenum Association - IMO. Neste guia o fresamento de faceamento com ferramenta

de metal duro é recomendado com V_c entre 30-50 m/min (para desbaste) e 50-70 m/min (para acabamento). Assim, decidiu-se por utilizar as velocidades indicadas para desbaste, que correspondem à rotação da ferramenta de 12000 rpm e 20000 rpm, respectivamente.

Considerando inicialmente $t_{cm} = r_e \approx 2,5 \mu\text{m}$ e $f_t = t_c$, espera-se observar mudanças nos resultados da força de corte e da pressão específica de corte quando $f_t < r_e$. Deste modo, o avanço por dente foi selecionado entre $1 \mu\text{m}$ e $10 \mu\text{m}$. A Tabela (2) apresenta uma síntese dos parâmetros de corte.

Tabela 2. Parâmetros de corte para cada experimento.

Material	Experimentos	f_t (mm/dente)	Rotação (rpm)
Superduplex	1	0.01	20000
	2	0.01	12000
	3	0.007	20000
	4	0.007	12000
	5	0.005	20000
	6	0.005	12000
	7	0.003	20000
	8	0.003	12000
	9	0.002	20000
	10	0.001	20000
Aços Inoxidáveis AISI 316 e AISI 430	11	0.001	20000
	12	0.001	12000
	13	0.005	20000
	14	0.005	12000
	15	0.01	20000
	16	0.01	12000

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Fig. (7) compara os perfis das forças de corte obtidos no micro fresamento dos aços superduplex, ferrítico 430 e austenítico 316, quando $n=20000$ rpm e $f_t=5 \mu\text{m/dente}$. A força máxima de corte do superduplex na direção de avanço (F_y) é aproximadamente 4N, enquanto que para os aços 430 e 316 as forças são de 6N e 3N, respectivamente. Este resultado mostra a possibilidade de correlacionar as forças de corte do aço superduplex e dos materiais homogêneos que apresentam composição química e comportamento mecânico semelhante as fases do superduplex.

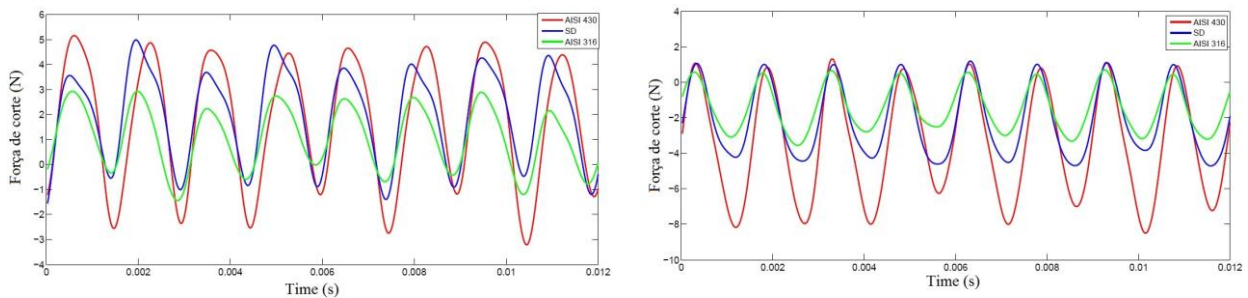


Figura 7. Força de corte dos aços superduplex, AISI 430 e AISI 316 para quatro rotações da ferramenta.

A partir da força de corte resultante e da área do cavaco é possível calcular a pressão específica de corte resultante ($K_{resultante}$). A pressão específica de corte (K_t) é então calculada como função de $K_{resultante}$, como mostrado na Eq. (1). Onde $m_1=0,6$ e $m_2=0,2$, segundo Malekian et al. (2013). Com a determinação da força específica a partir de dados experimentais, é possível calibrar a pressão específica de corte utilizando o modelo mecanístico da Eq. (2)

$$K_t = \frac{K_{resultante}}{\sqrt{1 + m_1^2 + m_2^2}} \quad (1)$$

$$\ln K_t = a_0 + a_1 \ln t_c + a_2 \ln V_c + a_3 \ln t_c V_c \quad (2)$$

Com a Eq. (2) e os valores da força específica experimental, pode-se calcular os coeficientes a_0 , a_1 , a_2 e a_3 através do sistema de equações linear da Eq. (3). Os valores experimentais de K_t utilizados como limites de calibração foram

obtidos com $n=12000$ e 20000 e $f_t=3$ e $10 \mu\text{m/dente}$. A Tabela (3) apresenta estes coeficientes da pressão específica de corte para cada material.

$$\begin{bmatrix} 1 & -\ln f_t^- & \ln V_c^- & \ln f_t^- \times \ln V_c^- \\ 1 & -\ln f_t^+ & \ln V_c^+ & \ln f_t^+ \times \ln V_c^- \\ 1 & -\ln f_t^- & \ln V_c^- & \ln f_t^- \times \ln V_c^+ \\ 1 & -\ln f_t^+ & \ln V_c^+ & \ln f_t^+ \times \ln V_c^+ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{t1} \\ K_{t2} \\ K_{t3} \\ K_{t4} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Tabela 3. Coeficientes de calibração da pressão específica de corte.

Coeficiente	AISI 430	AISI 316	Aço Superduplex
a_0	6.2028	6.6388	6.7508
a_1	-0.3946	-0.2780	-0.3169
a_2	0.2582	0.0724	0.0846
a_3	-0.1364	-0.2056	-0.2323

Substituindo os coeficientes acima na Eq. (2) é possível calcular a pressão específica de corte ($K_{\text{mecânico}}$) para qualquer valor de n e f_t que esteja dentro dos limites de calibração, ou seja, $K_{\text{mecânico}}=f(f_t, V_c)$. Os erros máximos entre K_t e $K_{\text{mecânico}}$ para os aços superduplex, AISI 316 e AISI 430 foram -32,84 %, 1,09% e 7,77%, respectivamente.

A Fig. (8) compara os valores da força específica mecânica para $n=2000$ rpm e f_t de 1 a $10 \mu\text{m/dente}$ para os três aços inoxidáveis. Neste resultado é possível confirmar que os valores da força máxima de corte e da pressão específica de corte do aço superduplex tende a ficar entre os valores dos aços ferrítico 430 e austenítico 316.

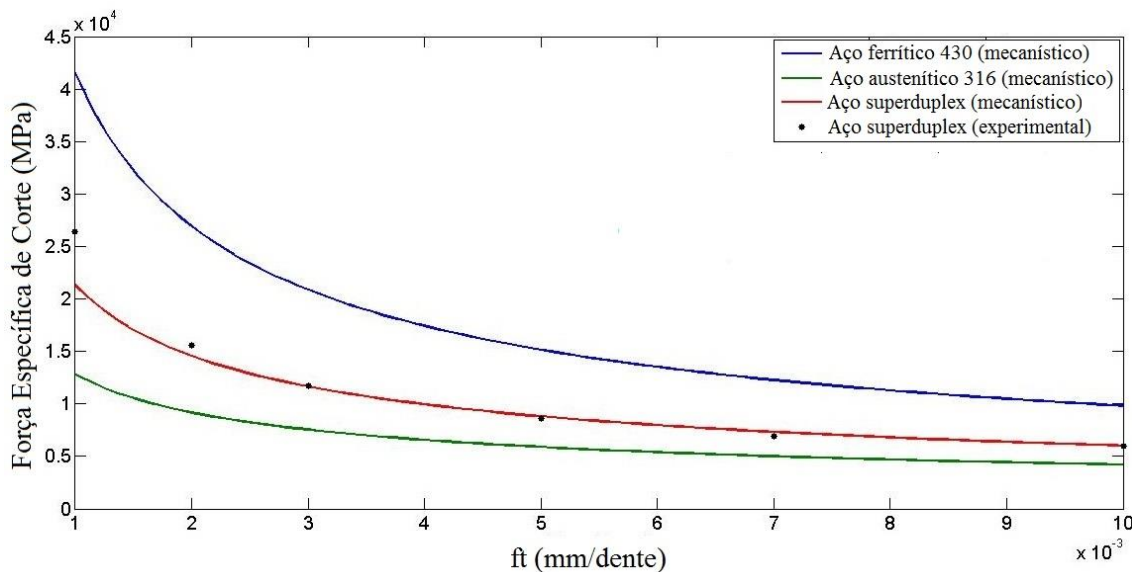


Figura 8. Curvas obtidas a partir da calibração da equação mecânica para os aços superduplex, austenítico AISI 316 e ferrítico AISI 430.

No entanto, os resultados apresentados na Fig. (8) não fornecem uma relação mecânica entre o aço superduplex e os aços ferrítico AISI 430 e austenítico AISI 316. Para que esta condição seja alcançada, utiliza-se uma combinação que seja capaz de calcular o valor da força específica do aço superduplex como sendo uma função linear (K_{tSD}) dos outros dois aços, como apresentado na Equação (4). Onde a , b e c são os novos coeficientes de calibração da pressão específica de corte e podem ser obtidos resolvendo um sistema semelhante ao da Eq. (3). Deste modo, $a = 0,4$, $b=0,6$ e $c=-0,0188$. A Fig. (9) apresenta as comparações entre os resultados da pressão específica de corte experimental, mecânica e linear.

$$K_{tSD} = aK_{t430} + bK_{t316} + c \quad (4)$$

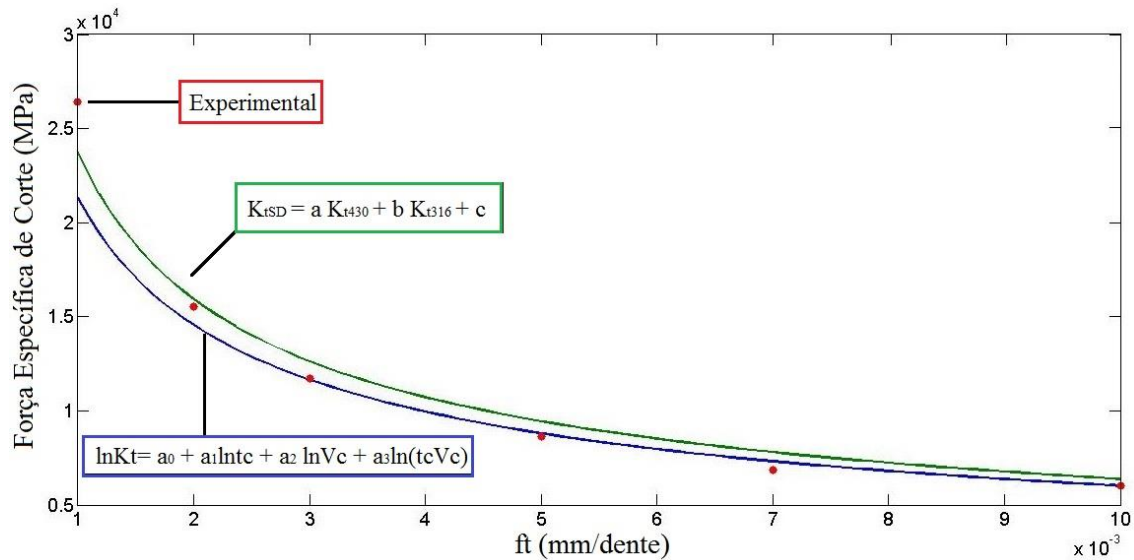


Figura 9. Curvas obtidas a partir da equação mecânica e da equação linear para os aços superduplex.

O maior erro encontrado entre K_t e $K_{\text{mecânico}}$ foi de 32,84 % enquanto que o maior erro entre K_t e K_{tSD} foi de 23,52 %. Deste modo, é possível prever os valores máximos da pressão específica de corte do aço superduplex a partir de resultados mecânicos dos aços ferrítico AISI 430 e austenítico AISI 316, que simulam separadamente as duas fases do aço bifásico. Estes resultados diminuem a necessidade de grande quantidade de dados experimentais para a análise do processo de micro fresamento do superduplex.

4. CONCLUSÕES

O material de estudo foi o aço inox superduplex UNS S32750 e, adicionalmente, foram utilizados os aços inoxidáveis ferrítico AISI 430 e austenítico AISI 316 para comparação e para a elaboração do modelo combinado das duas fases: ferrita e austenita. O processo de micro fresamento foi realizado com dois fatores, a velocidade de corte e o avanço por dente, com dois e seis níveis, respectivamente.

A análise dos dados experimentais foi realizada pelos perfis das forças de corte e pela pressão específica de corte em função dos parâmetros de usinagem. A partir dos dados experimentais da força foi realizada a calibração de um modelo mecânico para o cálculo da pressão específica de corte.

A pressão específica de corte dos aços obtida pelo modelo mecânico apresentou erro máximo com os dados experimentais de 32,8%, 5,79% e 5,13%, respectivamente. Já a pressão específica de corte do aço superduplex calculada como função linear dos aços ferrítico AISI 430 e austenítico AISI 316 apresentou erro máximo de 24%.

Portanto, é satisfatória a utilização da função linear para o cálculo da pressão específica de corte de um aço bifásico através de dados obtidos do micro fresamento de materiais que simulem as suas fases separadamente. A vantagem reside principalmente na menor possibilidade da aresta de corte da micro ferramenta passar por fases com propriedades mecânicas distintas e causar oscilações nas forças de corte.

5. REFERÊNCIAS

- Aramcharoen, A. and Mativenga, P., 2009, "Size effect and tool geometry in micromilling of tool steel", Precision Engineering, v. 33, n. 3, pp. 402–407.
- Bissacco, G., Hansen, H. and Chiffre, L. D., 2006, "Size Effects on Surface Generation in Micro Milling of Hardened Tool Steel", {CIRP} Annals – Manufacturing Technology, v. 55, n. 1, pp. 593–596.
- Fonseca, M. C., Barbosa, M. F. M. and Bartholo, R. N., 2008, "Estudo das tensões residuais geradas na usinagem por fresamento de amostras de aço superduplex". In: V Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Salvador - Bahia
- Malekian, M., Mostofa, M. and Park, S., 2012, "Modeling of minimum uncut chip thickness in micro machining of aluminum", Journal of Materials Processing Technology, v. 212, n. 3, pp. 553–559.
- Mian, A., Driver, N. and Mativenga, P., 2011, "Identification of factors that dominate size effect in micro-machining", International Journal of Machine Tools and Manufacture, v. 51, n. 5, pp. 383–394.
- Moronuki, N., Liang, Y. and Furukawa, Y., 1994, "Experiments on the effect of material properties on microcutting processes", Faculty of Technology, Tokyo Metropolitan University, v. 16, n. 2, pp. 124–131.
- Pardal, J. M., 2012, Aços Inoxidáveis Superduplex. Efeitos dos tratamentos térmicos nas propriedades mecânicas, magnéticas e resistência à corrosão. Blucher.

- Ramos, A. C., Autenrieth, H. and Straub, T., 2012, “Characterization of the transition from ploughing to cutting in micro machining and evaluation of the minimum thickness of cut”, *Journal of Materials Processing Technology*, v. 212, n. 3, pp. 594–600.
- Vogler, M. P., Devor, R. E. and Kapoor, S. G., 2004, “On the Modeling and Analysis of Machining Performance in Micro-Endmilling, Part I: Surface Generation”, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, v. 126, n. 4, pp. 685–694.
- Vollertsen, F., Biermann, D. and Hansen, H., 2009, “Size effects in manufacturing of metallic components”, *{CIRP} Annals – Manufacturing Technology*, v. 58, n. 2, pp. 566–587.

6. DIREITOS AUTORAIS

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

MECHANISTIC DETERMINATION OF SPECIFIC CUTTING FORCE IN MICROMILLING OF 32720 SUPER DUPLEX STEEL

Adriane Lopes Mougo^{1,2}
Fabio de Oliveira Campos²
Anna Carla Araujo²

¹Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Estrada de Adrianópolis, Nova Iguaçu – RJ

² Universidade Federal do Rio de Janeiro, Cidade Universitária, Centro de Tecnologia, COPPE, BL G, SL 204

Abstract: *Specific cutting force, the effective energy consumed to remove a volume unity of material, can be also used to determine the machinability of materials and it allows to broad the comprehension of the cutting process. In micromilling, specific cutting force is influenced by size effect, which deals mainly with the influence of the cutting edge radius and the microstructure of the machined material. With the scale reduction, cutting edge tends to engage a reduced number of grains during one tool revolution and, therefore, chip formation mechanism and cutting dynamics become influenced by the microstructure combined with the mechanical properties of each material phase. Among the materials with heterogeneous microstructure, duplex and super duplex steels are strong representatives of this effect due to their bi-phasic structure composed of ferrite and austenite which give them high mechanical resistance, corrosion resistance. They also present low machinability and hardening during the process. The objective of this work is to propose a mechanistic model to determine cutting force for super duplex 32729 steel as a combination of specific cutting force in each phase. Representing the austenitic phase, it was used properties of the austenitic AISI 316 stainless steel and representing the ferritic phase, it was used the ferritic AISI 430 steel. The calibration procedure was performed for two levels of cutting speed and six levels of feed per tooth, with constant depth of cut. Results showed that the heterogeneous model can simulate the material by the combination of the phases and using the calibration coefficients of AISI 316 and AISI 430 steels, the higher error found regarding experimental values was 23.5%.*

Keywords: micromilling, super duplex 32720 steel, specific cutting force, mechanistic equation