



HAL
open science

ANÁLISE DAS FORÇAS DE CORTE NO PROCESSO DE FURAÇÃO DE UMA LIGA DE AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO

Mariana N Vasconcellos, Anna Carla Araujo

► **To cite this version:**

Mariana N Vasconcellos, Anna Carla Araujo. ANÁLISE DAS FORÇAS DE CORTE NO PROCESSO DE FURAÇÃO DE UMA LIGA DE AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO. VI Congresso Brasileiro de Fabricação, 2011, Caxias do Sul, Brazil. hal-03212865

HAL Id: hal-03212865

<https://hal.science/hal-03212865>

Submitted on 30 Apr 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ANÁLISE DAS FORÇAS DE CORTE NO PROCESSO DE FURAÇÃO DE UMA LIGA DE AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO

Mariana N. Vasconcellos, mariananv@gmail.com¹

Anna Carla Araujo, anna@mecanica.ufrj.br^{1,2}

¹ Programa de Engenharia Mecânica - COPPE/UFRJ - P.O. Box 68.503, CEP 21.941-972 - Rio de Janeiro - RJ, Brasil

² Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e Tecnologia dos Materiais - CEFET/RJ - Rio de Janeiro - RJ, Brasil

Resumo. *A previsão das forças de usinagem no processo de furação se baseia no conhecimento da área de contato do cavaco com a ferramenta e da pressão específica de corte do par de materiais peça-ferramenta em uma gama de velocidades de corte e de avanço conhecidas, dentro da abordagem mecanística da mecânica do corte. Com o desenvolvimento de novos materiais, como a liga inoxidável austenítico Sanicro 28, é necessário realizar um procedimento experimental para caracterizar o comportamento do material durante a usinagem com determinada ferramenta e assim calcular a pressão específica. Para isto é necessário monitorar as forças de usinagem durante o processo nas situações limite em laboratório, calcular as pressões específicas nos limites propostos pelo fabricante e, com isto, estabelecer uma função validada nesta faixa de velocidades. O objetivo deste trabalho é, a partir de forças aquisitadas pelo monitoramento do processo de furação de uma broca de metal duro em um corpo de prova de aço inoxidável, fornecer as funções da pressão específica para a faixa de velocidades de avanço e de rotação indicadas pelo fabricante da ferramenta tornando possível o cálculo da força de usinagem para outras situações de corte.*

Palavras-chave: Furação; Força de Usinagem; Aço Inoxidável Austenítico

1. INTRODUÇÃO

O processo de furação é um dos mais utilizados na fabricação de componentes mecânicos. Modelar as forças de corte com base no material a ser usinado, na geometria da ferramenta e nas condições de usinagem possibilita determinar as taxas máximas de produção e o desenvolvimento de novas geometrias de brocas, visando uma melhora na qualidade e produtividade do processo de furação. A furação com brocas de metal duro permitem altas taxas de remoção de material e grande volume de cavacos que são expelidos junto com o fluido de corte, injetado internamente a alta pressão. A pressão e o fluxo requeridos, se utilizados, dependem primeiramente do diâmetro do furo, mas também são afetados pelas condições de usinagem e pelo material da peça.

As forças de corte são as razões principais dos problemas relacionados a furação na usinagem como erro de forma e superfície, vibração, desgaste e ruptura da ferramenta. Diversos estudos foram desenvolvidos com o intuito de modelar as forças de corte. Oxford (1955) investigou a geometria e mecânica da furação mas Pal *et al.* (1965) foi o primeiro a considerar a zona de cisalhamento no modelo de corte de furação, orientado pela abordagem analítica do modelo. A abordagem mecanística foi adotada para modelar as forças de corte na furação nos trabalhos de Stephenson and Bandyopadhyay (1992) e Chandrasekharan *et al.* (1998).

Os modelos mecanísticos se baseiam na premissa que a força de corte é proporcional à área do cavaco ao longo da aresta de corte e o coeficiente de proporcionalidade, a pressão específica, que depende de vários fatores, pode ser calibrada através de uma função desenvolvida para a região de utilização da ferramenta. Chandrasekharan *et al.* (1998) desenvolveu um modelo para prever as forças e torque de corte na aresta de corte e na aresta transversal para furação e o modelo de Stephenson and Bandyopadhyay (1992) é aplicado para qualquer geometria de ponta e inclui as forças radiais devido a assimetria da ponta. Pirtini and Lazoglu (2005) desenvolveu um modelo baseado no método de calibração para obter os coeficientes das forças de corte globais diretamente dos teste de calibração, e este trabalho se baseou neste método.

O presente trabalho apresenta a função de cálculo da pressão específica de corte de uma liga de aço inox austenítico para usinagem com broca de metal duro de 2 mm para a faixa de velocidades recomendadas pelo fabricante. Os parâmetros utilizados para modelagem das forças de corte levou em consideração que a força específica de corte global pode prever a força de corte para uma determinada ferramenta, independente das variações locais.

2. FORÇAS DE CORTE NO PROCESSO DE FURAÇÃO

A força atuante na ponta da broca durante um processo de furação tem duas fontes distintas, com mecanismos diferentes. A região da aresta principal de corte está sujeita à forças de corte enquanto que a aresta transversal está sujeita a

forças de indentação. Neste trabalho a força de indentação foi desprezada. Com aresta transversal menor que 0.2mm, não foi realizada pré-furação e, como será apresentado, os resultados foram satisfatórios.

Cabe ressaltar que a força de usinagem considerada neste artigo é uma grandeza vetorial que representa a resultante do esforço realizado pela ferramenta à peça para que torne possível o corte do material.

2.1 Geometria da ferramenta

A Figura 1(a) mostra a geometria da ferramenta, bem como a área do cavaco a ser removido quando a ferramenta está trabalhando com a aresta de corte integralmente ativa no processo de usinagem. Observa-se o ângulo de ponta $2k$ que orienta a posição da aresta de corte em relação à superfície usinada. A quantidade de material a ser removido na direção do avanço por cada aresta está identificado como $a_r/2$, em função do avanço por rotação a_r .

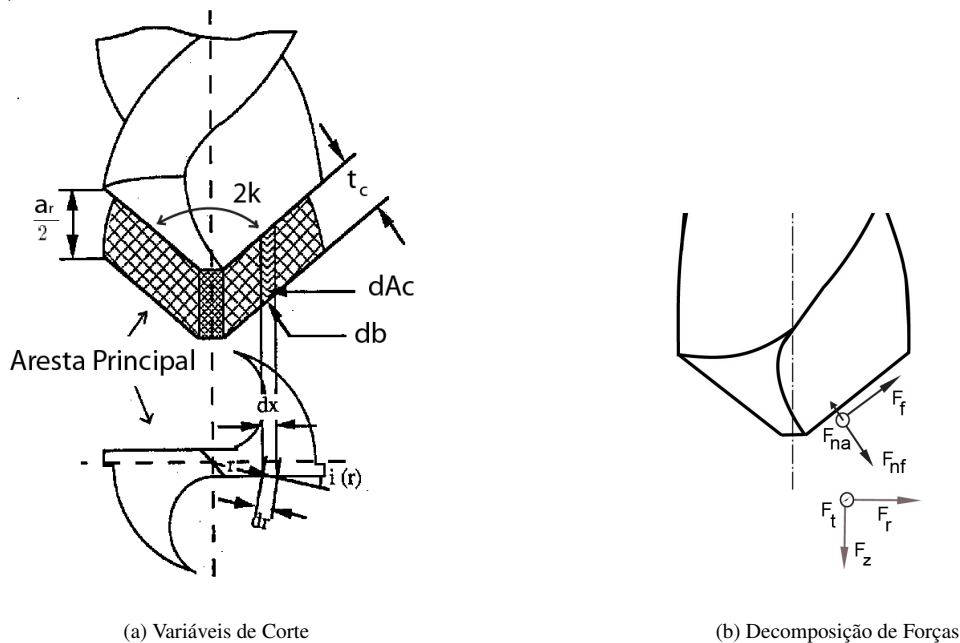


Figura 1. Geometria da ponta da ferramenta

2.2 Área de contato do cavaco

A força diferencial de corte é determinada, para qualquer ponto da aresta de corte, como o produto da área do cavaco dA_c (Figura 1(a)) pela pressão específica de um ponto P pertencente a aresta de corte $\vec{K}_c(P)$ mais a componente referente ao desgaste da aresta de corte $\vec{K}_e(P)$ multiplicado pelo comprimento da aresta db .

$$d\vec{F} = \vec{K}_c(P).dA_c + \vec{K}_e(P).db \quad (1)$$

A área do cavaco pode ser expressa por:

$$dA_c = t_c.db \quad (2)$$

onde db é o comprimento diferencial da aresta de corte e t_c é a espessura do cavaco indeformado perpendicular a aresta de corte, calculados por:

$$t_c = \frac{a_r \sin k}{2} \quad (3)$$

$$db = \frac{dz}{\cos k} = \frac{dr}{\sin k} \quad (4)$$

em função de dz , a decomposição da aresta de corte db na vertical ou de dr , na direção radial.

2.3 Decomposição da força local de corte

Chandrasekharan *et al.* (1998) afirmou que as parcelas da pressão específica que podem ser consideradas como função apenas da distância radial do ponto, e consequentemente da velocidade de corte, são as componentes na direção a aresta de corte, K_{fc} e K_{fe} , e normal à superfície de saída K_{nc} e K_{ne} , que podem ser decompostas em duas direções: perpendicular a aresta de corte nf e a direção na ortogonal ao plano formado pelas direções f e nf , como mostra a Figura 1(b).

$$\begin{aligned} dF_f &= K_{fc}dA_c + K_{fe}db \\ dF_n &= K_{nc}dA_c + K_{ne}db \end{aligned} \quad (5)$$

onde dF_n e dF_f são componentes da força de usinagem.

É necessário transferir estas forças para as direções da plataforma dinamométrica de medida. Na Figura 1(b) estão ilustradas a decomposição das forças na aresta de corte no referencial da ferramenta radial dF_r , tangencial dF_t e axial dF_z , que devem ser ainda transpostas para o referencial fixo da mesa dF_x , dF_y e axial dF_z .

$$d\vec{F}(t) = \begin{bmatrix} dF_f(t) \\ dF_n(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} dF_f(t) \\ dF_{na}(t) \\ dF_{nf}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} dF_t(t) \\ dF_r(t) \\ dF_z(t) \end{bmatrix} \quad (6)$$

Para obter as forças no referencial da ferramenta (t, r e z), utilizam-se os ângulos de posição da ponta da broca k , e para transformar para o referencial da mesa (x, y e z), considera-se o ângulo de localização da extremidade uma das arestas de corte θ , que será considerada como a variável que representa o tempo.

Segundo Pirtini and Lazoglu (2005) a relação entre as componentes é para o referencial da mesa é:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} dF_x \\ dF_y \\ dF_z \end{bmatrix} &= Rot \begin{bmatrix} dF_f \\ dF_{nf} \\ dF_{na} \end{bmatrix} \\ Rot &= \begin{bmatrix} \sin(\Omega) \cos(k) & \cos(\Omega) \cos(k) & \cos(\Omega) \\ \sin(\Omega) \sin(k) & \cos(\Omega) \sin(k) & \sin \Omega \\ \sin(k) & \cos(k) & 0 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (7)$$

onde Ω é função do ponto da aresta de corte P, e da posição da aresta de corte no tempo:

$$\Omega = \theta + \frac{(n-1)2\pi}{N_f} - i(P) \quad (8)$$

onde $n = 1$ ou 2 , pois são apenas duas arestas de corte ($N_f = 2$).

2.4 Força de Avanço

Será desprezado o efeito de aresta bem como a força de corte da aresta transversal, como já afirmado anteriormente. Assim, pode-se supor que, para uma mesma ferramenta (com diâmetro constante), pode-se calcular um valor global da pressão específica de corte ao longo da aresta principal \bar{K}_{zc} e para uma ferramenta nova, pode-se supor que \bar{K}_{ze} é zero.

$$\bar{K}_{zc} = \frac{1}{R} \int_0^R K_{zc}(r) dr \quad (9)$$

$$\bar{K}_{ze} = 0 \quad (10)$$

A componente da força de corte da direção do avanço, ou seja, axial, F_z será calculada por:

$$F_z = \bar{K}_z \int_0^R dA_c \quad (11)$$

Para determinar \bar{K}_z , deve-se compor uma função de calibração, a partir de experimentos onde a pressão específica é calculada em função das forças aquisitionadas. Assim, a calibração será responsável por estabelecer os valores das constantes a_1 , a_2 e a_3 presentes na equação da pressão específica em função dos parâmetros de velocidade de corte máxima V_c (no raio externo) e do avanço por rotação a_r .

$$\bar{K}_z(V_c, a_r) = a_1 + a_2.V_c + a_3.a_r \quad (12)$$

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Material Usinado

O material do corpo de prova é uma liga Ni-Cr-Mo que apresenta uma densidade de $8.0g/cm^3$ que, em temperatura ambiente ($20^\circ C$), tem-se uma condutividade térmica de $10W/m^\circ C$ e módulo de elasticidade de $195GPa$ e é chamada comercialmente de Sanicro 28. Na Tabela 1 encontra-se as propriedades mecânicas da liga e na Tabela 2 a composição química da liga segundo Sandvik (2010).

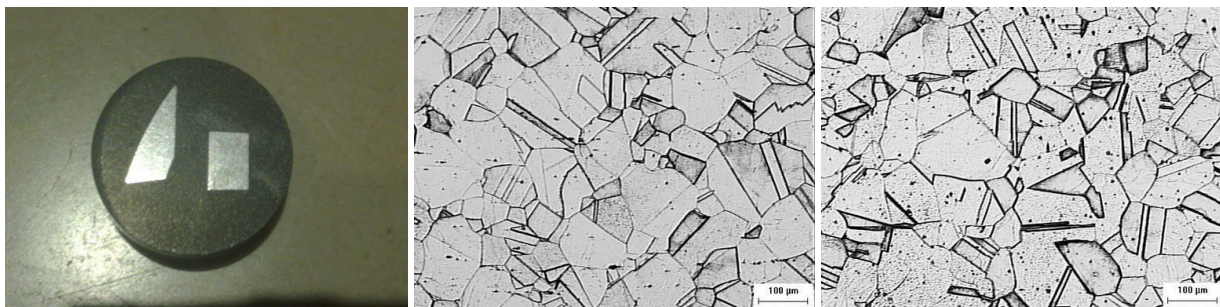
Tabela 1. Propriedades mecânicas da liga

| Resistência a Tração (MPa) | Alongamento (%) | Dureza Máxima (HRB) |
|----------------------------|-----------------|---------------------|
| 550-750 | 40 | 90 |

Tabela 2. Composição Química da liga

| C | Si | Mn | P | S | Cr | Ni | Mo | Cu |
|------|-----|-----|--------|--------|----|----|-----|-----|
| 0,02 | 0,6 | 2,0 | 0,02-5 | 0,0-15 | 27 | 31 | 3,5 | 1,0 |

Com o objetivo de verificar a microestrutura do material a amostra em duas direções do corpo de prova tubular utilizado (Figura 3(a)), com um disco de carbeto de silício a $3400\ rpm$, em duas seções menores, sendo a seção 1 longitudinal, e a seção 2 transversal como mostra a Figura 2(a) (Vasconcellos *et al.* (2008)). Após o corte foi feito um embutimento à quente com resina acrílica para as duas seções reduzidas da amostra, onde a pressão foi elevada até $150\ kgf/cm^2$ e mantida constante. Por microscopia pôde se observar a estrutura metalográfica do material usinado na Figura 2 b e c, com microestrutura característica de austenita e com traços contínuos nos grãos que são marcas características de recozimento.



(a) Amostra embutida

(b) Seção longitudinal

(c) Seção transversal

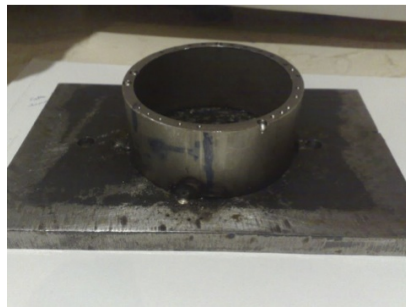
Figura 2. Estrutura metalográfica do material usinado

3.2 Ferramenta Utilizada

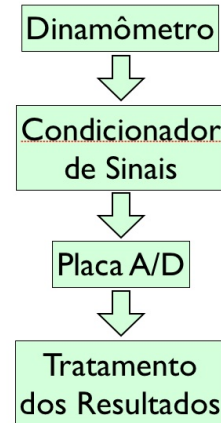
Uma broca de 2mm de diâmetro com revestimento de TiN, Corodril Delta C 840 foi utilizada para realizar a operação de corte, realizada após o fresamento de faciamento, que garantiu a perpendicularidade da amostra. A fixação da broca foi realizada através de pinça. A mesma ferramenta foi utilizada para todos os testes e não foi considerado neste trabalho a influência do desgaste de ferramenta na componente da aresta pois não foi observado desgaste acentuado.

3.3 Aparato Experimental para Monitoramento das Forças

Os experimentos de furação foram realizados em um Centro de Usinagem CNC Polaris. Para medir as forças geradas foi utilizado um dinamômetro piezoelétrico (Kistler Type 9257BA), onde este constitui de quatro células de carga que ficam embutidas na plataforma e nela os corpos de prova são fixados, como mostrado na Figura 3(b). Os dados foram coletados com uma frequência de amostragem de 1000 Hz na placa conversora A/D, para garantir 15 pontos por rotação, e transferidos ao computador para o tratamento dos sinais. O fator de amplificação utilizado foi de $2.5\ mV/N$.



(a) Corpo de Prova



(b) Aquisição de Sinais

Figura 3. *Set-up* Experimental

4. PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO

4.1 Experimentos de Calibração

A calibração do modelo deve levar em consideração as condições limite da ferramenta de corte na peça usinada, por isso os quatro pontos de calibração escolhidos usam os valores: velocidade de corte máxima V_c^A e mínima V_c^B e os avanços máximo a_r^A a mínimo a_r^B , indicados pelo fabricante. A velocidade de rotação ω e a velocidade de avanço V_f , calculadas a partir das condições destes pontos, também estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. **Parâmetros utilizados nos Experimentos de Calibração.**

| Experimento | V_c (m/min) | a_r (mm/rot) | ω (rpm) | V_f (mm/min) |
|-------------|---------------------------|--------------------------|----------------|----------------|
| C1 | 15,7 $\rightarrow V_c^B$ | 0,03 $\rightarrow a_r^B$ | 2500 | 75 |
| C2 | 15,7 $\rightarrow V_c^B$ | 0,06 $\rightarrow a_r^A$ | 2500 | 150 |
| C3 | 31,42 $\rightarrow V_c^A$ | 0,06 $\rightarrow a_r^A$ | 5000 | 300 |
| C4 | 31,42 $\rightarrow V_c^A$ | 0,03 $\rightarrow a_r^B$ | 5000 | 150 |

Os resultados das forças de avanço aquisitadas ao longo do avanço da ferramenta para cada um dos quatro pontos pode ser observado na Figura 4. A partir destes é possível calcular a pressão específica global de cada experimento, como será visto a seguir.

4.2 CÁLCULO DAS PRESSÕES ESPECÍFICAS NA REGIÃO DE CALIBRAÇÃO

A partir dos resultados apresentados na Figura 4, é possível calcular a pressão específica global de cada experimento para encontrar os coeficientes da equação 12 e assim definir uma função de calibração da pressão específica dentro desta região de velocidades.

Através da análise dos experimentos da Figura 4 foram calculadas as pressões específicas \bar{K}_z em diferentes instantes da operação para reduzir a influência do ruído nos resultados, a partir dos valores de F_z . O \bar{K}_z de cada experimento foi calculado a partir das médias de todos estes instantes e apresentado na Tabela 4.

Tabela 4. **Pressões Específicas Calculadas para Cada Experimento de Calibração**

| Experimento | C1 | C2 | C3 | C4 |
|---------------------------------------|------|------|------|------|
| \bar{K}_z experimental (N/mm^2) | 4483 | 3200 | 3020 | 4689 |

A figura 4 representa graficamente os valores da tabela 4 que serão utilizados para prever as forças na região entre

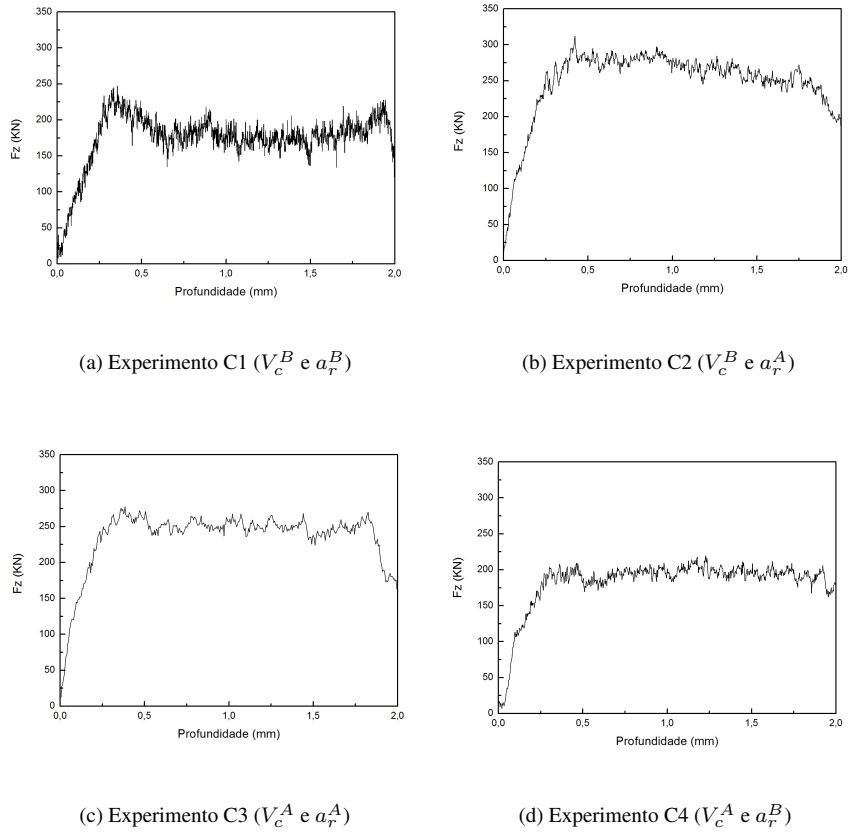


Figura 4. Variação da Força Axial com o Avanço da Broca nos Experimentos de Calibração

estes pontos.

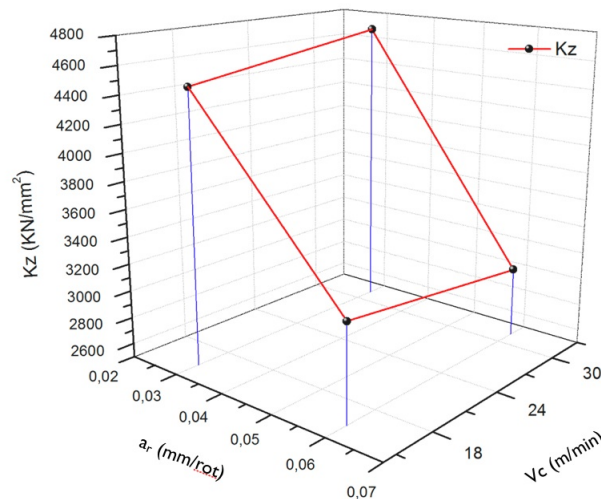


Figura 5. Valores das pressões específicas de corte \vec{K}_z nos pontos de calibração

4.3 CÁLCULO DAS CONSTANTES DE CALIBRAÇÃO

Os coeficientes da equação 12 são determinados a partir de um ajuste linear dos resultados da Tabela e tem-se a seguinte expressão para cálculo da pressão específica de corte da ferramenta e material usinado utilizado nesse trabalho:

$$\vec{K}_z(V_c, a_r) = 6043 + V_c - 49194 a_r \quad (13)$$

5. Comparação Experimental

5.1 Previsão das Forças

Após a calibração do modelo mecanístico, passa a fase de previsão de forças e comparação experimental para validar o modelo. Os experimentos de validação são apresentados na Tabela 5 e os valores previstos para a pressão específica de cada um deles é:

$$K_z(V1) = 6043 + 22,62 - 49194 \cdot 0,05 = 3606N/mm^2 \quad (14)$$

$$K_z(V2) = 6043 + 22,62 - 49194 \cdot 0,06 = 3114N/mm^2 \quad (15)$$

A partir destes valores, calcula-se a evolução com o avanço da broca, como apresentado na Figura 6.

Tabela 5. Experimentos de Validação.

| Experimento | V_c (m/min) | a_r (mm/rot) | ω (rpm) | V_a (mm/min) |
|-------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| V1 | 22,62 | 0,05 | 3600 | 180 |
| V2 | 22,62 | 0,06 | 3600 | 216 |

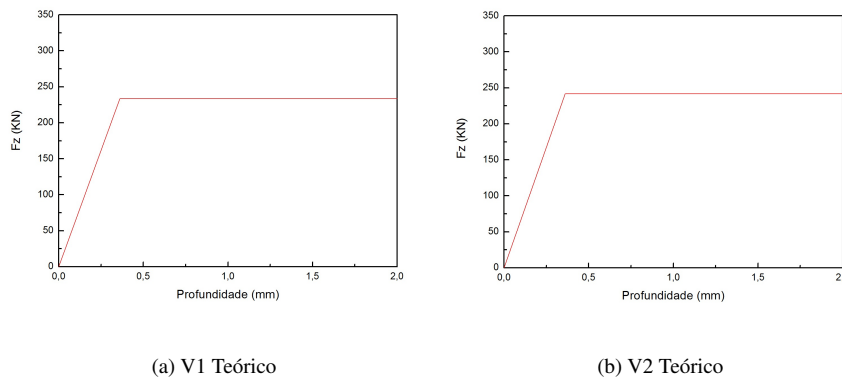


Figura 6. Previsão das Forças de Avanço nos Experimentos V1 e V2

5.2 Comparação Teórico Experimental

Na tabela 6 podem ser observados os resultados teórico e experimental para os valores de força e pressão específica, em cada caso, e os respectivos erros encontrados. Pode-se recalculer a pressão específica dos pontos de calibração, a partir da equação 13, e comparar com os valores experimentais utilizados para modelar o processo, para perceber se os pontos limites estão bem representados pela equação de calibração. A comparação gráfica pode ser observada na Figura 8.

Pode-se constatar que o modelo conseguiu representar de forma satisfatória com o experimento (Figura 8), apresentando erro percentual em torno de 10 por cento, assim a função corrigida de forma a extrapolar os valores em 10% a mais para prever este erro, é representada por:

$$\bar{K}_z(V_c, a_r) = 6100 + 1,1V_c - 5,5 \cdot 10^4 \cdot a_r \quad (16)$$

Para o cálculo de K_z a partir do experimento, foram calculados valores globais para cada teste, procedimento que pode ser aplicado para uma mesma ferramenta a média da pressão específicas de cada um dos experimentos de calibração. Consequentemente, pode-se observar que em todos os gráficos comparativos apresenta-se uma diferença no início do processo, isto é uma resistência maior de furação do material do que o previsto, na região com valores de deslocamento em z de até 0,2mm. Esta diferença deve-se à aresta transversal de corte que não foi considerada no cálculo da pressão específica experimental média. Os valores retirados para calibração foram identificados após a entrada da aresta transversal e após a entrada completa da aresta de corte principal.

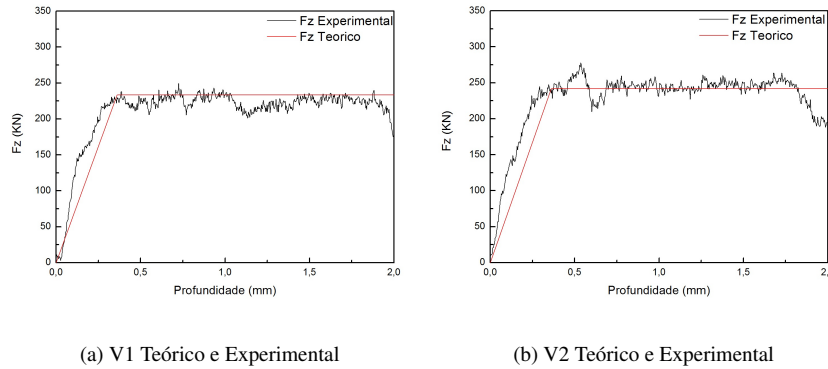


Figura 7. Comparação Teórico-Experimental

Tabela 6. Comparação pressão específica experimental e modelo

| | | | |
|-------------|---------------------------------|----------------------------|--------|
| Experimento | K_z experimental (N/mm^2) | K_z teórico (N/mm^2) | Erro |
| V1 | 3235 | 3606 | 10,3 % |
| V2 | 2927 | 3114 | 6,0 % |
| | F_z experimental (N) | F_z teórico (N) | Erro |
| V1 | 209 | 233 | 10,3 % |
| V2 | 227 | 242 | 6,1 % |
| Experimento | K_z experimental (N/mm^2) | K_z teórico (N/mm^2) | Erro |
| C1 | 4483 | 4583 | 2,2 % |
| C2 | 3200 | 3107 | 3,0% |
| C3 | 3020 | 3123 | 3,3% |
| C4 | 4689 | 4483 | 4,6 % |

6. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi utilizado o modelo mecanístico para prever as forças de corte na furação de um aço inox austenítico com ferramenta de metal duro com revestimento de TiN. Os experimentos de calibração foram realizados nas condições limite indicadas pelo fabricante para este aço com esta ferramenta. A partir destes experimentos, foi construída uma função para o cálculo da pressão específica na região alvo. O modelo foi validado em situações internas à região e conseguiu prever as forças e pressões específicas de corte nos experimentos de calibração apresentando um erro em torno de 10 por cento. A divergência de até 10% dos valores teóricos em relação aos experimentais de validação se deve ao número de experimentos realizados. O erro foi absorvido pelo modelo com o objetivo de garantir que os maiores experimentais estejam abaixo dos valores previsto. Após esta adaptação, obteve-se um erro percentual máximo de 4,6%. O objetivo deste trabalho não se deteve a apresentar um modelo inovador, uma vez que este procedimento foi estudado por outros autores, e sim caracterizar o comportamento da liga com a ferramenta em questão. O erro apresentado é da ordem dos experimentos do trabalho de Pirtini and Lazoglu (2005).

O procedimento de modelagem mecanística foi adotado neste trabalho aplicando à ferramentas de furação sem um estudo de desgaste e sem a inclusão da modelagem de indentação através da aresta transversal de corte. Com o intuito de obter previsão das forças de corte como extrapolação para outros diâmetros, pode-se considerar a variação da força de corte ao longo da aresta de corte, com a variação da velocidade de corte pontual, usando para isto as funções lineares adotadas para a região de estudo.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Sandvik pela doação dos materiais utilizados neste trabalho. Às engenheiras Ana Paula Cunha e Luiza Assunção, que participaram na execução do trabalho de fim de curso (Vasconcellos *et al.* (2008)) com a primeira autora na fase inicial do trabalho. Ao Prof. Marcelo Savi por sua contribuição na formação acadêmica de pesquisa da primeira autora e aos recursos do LAVI/UFRJ durante a execução do texto. Ao Prof. Jose Luis pela disponibilidade do laboratório CEFCON da COPPE/UFRJ. E ao CEFET-RJ, através do Programa de Pós-Graduação, pela disponibilidade dos sensores utilizado para aquisição de forças. Os autores também agradecem ao apoio do CNPq através

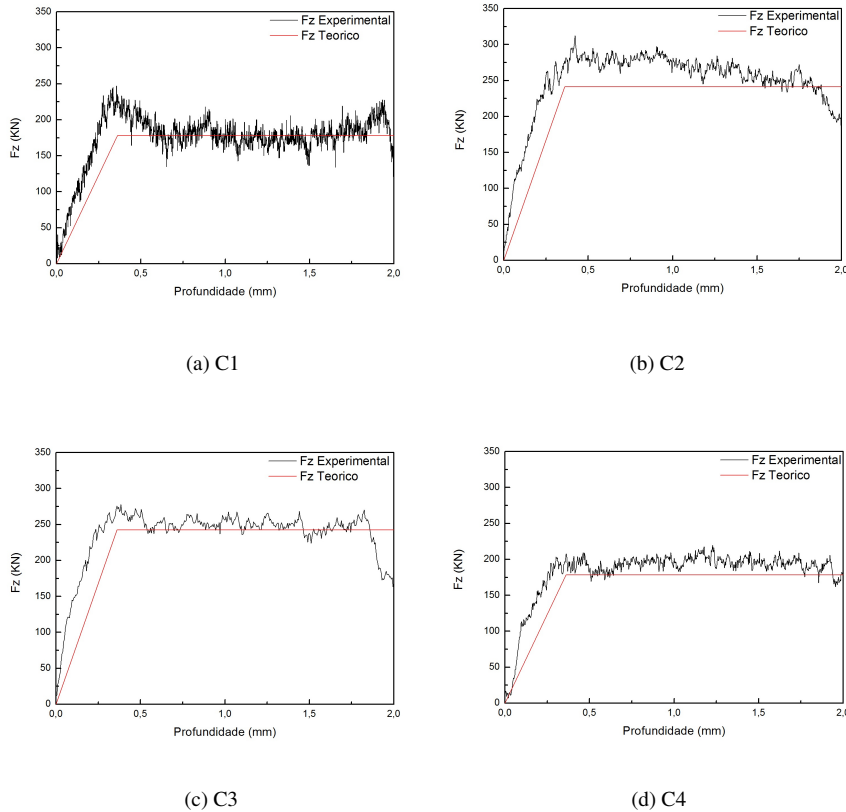


Figura 8. Comparação da Força Calculada pela Modelo com os Experimentos Iniciais

do Edital Universal de 2008/2010.

8. REFERÊNCIAS

- Chandrasekharan, V., Kapoor, S. and DeVor, R., 1998. "Mechanistic model to predict the cutting force system for arbitrary drill point geometry". *Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME*, Vol. 120(3), pp. 563–570.
- Oxford, C.J., 1955. "On the drilling of metals - basic mechanics of the process". *Transactions of ASME*, Vol. 77, pp. 103–114.
- Pal, A., Bhattacharyya, A. and Sen, G., 1965. "Investigation of the torque in drilling ductile materials". *Int. J. Mach. Tool Des. Res.*, Vol. 4, p. 205.
- Pirtini, M. and Lazoglu, I., 2005. "Forces and hole quality in drilling". *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 45, pp. 1271–1281.
- Sandvik, 2010. "Technical data drilling". URL <http://www.sandvik.com>.
- Stephenson, D.A. and Bandyopadhyay, P., 1992. "Calculation of main cutting edge forces and torques for drills with arbitrary point geometries". *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, Vol. 32, pp. 521–538.
- Vasconcellos, M.N., Cunha, A.P. and Assunção, L., 2008. *Análise das forças de corte no processo de furação da liga Sanicro 28*.

9. DIREITOS AUTORAIS

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

CUTTING FORCE PREDICTION FOR DRILLING OF AN AUSTENITIC STAINLESS STEEL

Mariana N. Vasconcellos, mariananv@gmail.com¹

Anna Carla Araujo, anna@mecanica.ufrj.br^{1,2}

¹ Programa de Engenharia Mecânica - COPPE/UFRJ - P.O. Box 68.503, CEP 21.941-972 - Rio de Janeiro - RJ, Brasil

² Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e Tecnologia dos Materiais - CEFET/RJ - Rio de Janeiro - RJ, Brasil

Resumo. *The mechanistic prediction of machining forces is based a mechanistic model, with the knowlegde of the chip load area and the specific cutting pressure of the pair tool-workpiece in a range of cutting velocity and feed rate. This work deals with drilling of an austenitic stainless alloy Sanicro 28 with a 2mm diameter cemented carbide tool with TiN recovery. In mechanistic approach it is necessary to realize an experimental procedure to calibrate the material behavior during the machining and calculate the specific cutting force for a certain range. Experiments on maximum and minimum of cutting forces and feed per revolution are necessary for the calibration. Once the specific cutting force is modeled, two validation points are predicted and experimentally compared. The main objective of this work is to provide the specific pressure function for the range recommended by the tool manufacturer and based on this function, it possible to calculate the machining cutting forces for other situations inside this range.*

Keywords: *Drilling; Cutting Force; Austenitic Stainless Steel*