

Determinação da força específica de usinagem para a furação, a partir do modelo da força específica para o torneamento*

** Walter L. Weingaertner

*** Antonio Salvador da Rocha

Neste trabalho, mediram-se experimentalmente as componentes da força de usinagem do torneamento e da furação, de modo que pudessem ser determinados os diversos fatores de influência sobre a força de usinagem, comum aos dois processos, e os fatores específicos do processo de furação. Estes fatores foram introduzidos na equação de Kienzle, possibilitando a determinação das forças específicas para a furação, a partir dos valores das forças específicas do torneamento, com precisão e baixo custo.

INTRODUÇÃO

O advento das máquinas controladas numericamente (CNC) e o constante desenvolvimento no campo da construção de máquinas-ferramentas, técnicas de comando e processamento eletrônico têm exigido redobrados esforços para a obtenção de maior número de dados e melhores conhecimentos sobre as condições de usinagem para os

diversos materiais e processos de usinagem, fatores decisivos na produtividade destas máquinas.

Dentre os diversos parâmetros que determinam as condições ótimas de usinagem, destacam-se as forças de usinagem, indispensáveis para o cálculo da potência de usinagem e, conseqüentemente, a determinação do rendimento da máquina para diferentes cargas de trabalho, encontrando aplicações no cálculo de estrutura e dos mecanismos de acionamentos das máquinas-ferramentas.

A força de usinagem, que representa a resistência oferecida pelo material à penetração do gume da ferramenta de corte, sofre influência de diversos fatores, tais como: material da peça, material da ferramenta, condições de corte, geometria do corte e o próprio processo de usinagem.

* Trabalho apresentado XII Congresso Brasileiro de Enge. Mecânica (COBEM - 85).

** Dr. Ing., Prof. Dep. de Engenharia Mecânica da UFSC.

*** M. Sc., Prof. Dep. de Enge. Mecânica da UNIFOR e ETFCE.

Apesar dos esforços dos pesquisadores, não foi possível até o momento construir um modelo de força de usinagem, englobando todos os fatores de influência sobre a força de usinagem e que pudesse ser expresso por uma lei única.

Destes trabalhos, merece destaque a equação publicada por Kienzle e Victor⁽¹⁾, que compararam as forças específicas de corte no torneamento, no aplainamento e na furação, baseando-se na própria usinagem para obter um fator de usinagem "f", que possa ser usado em uma única lei de força de corte para os três processos.

$$P_s = f \cdot b \cdot h^1 \cdot Z \cdot K_{s1.1} \quad (1)$$

Para o processo de furação, eles encontraram um fator de processo $f = 1$ em relação ao processo de torneamento, o que já não pode ser aceito, pois sabe-se atualmente que a força de corte na furação é superior à do torneamento.

PLANEJAMENTO DO EXPERIMENTO

Com o objetivo de determinar-se um modelo de força de usinagem válido para o torneamento e furação, baseado na equação de Kienzle, com um fator de usinagem representativo dos diversos fatores de influência, específicos da furação, planejou-se uma série de ensaios, onde os fatores de in-

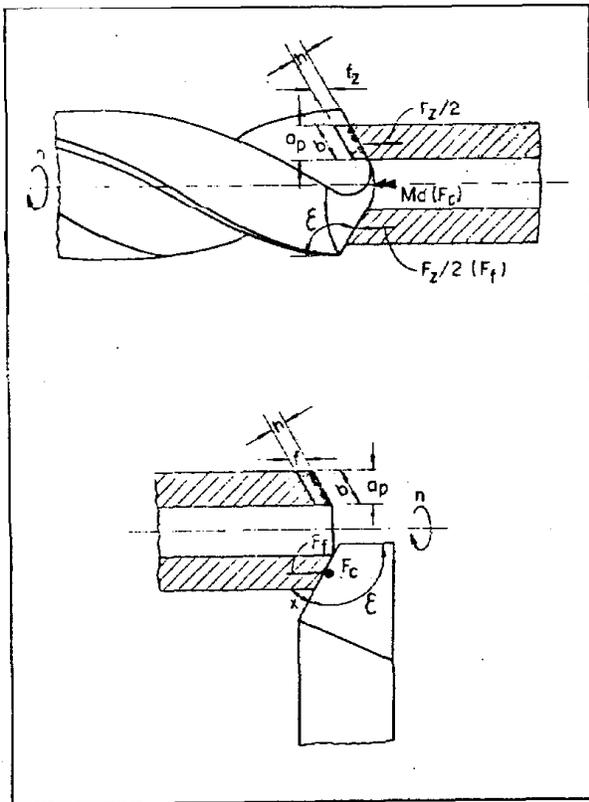


FIGURA 1 — Experiência planejada para estudar a composição das componentes da força específica de usinagem, sem as influências específicas do processo de furação.

fluência comum aos dois processos foram mantidos sob idênticas condições, e fosse possível a determinação dos fatores específicos da furação:

a) Torneamento e furação ortogonal. Fig. (1)

Com essa experiência, eliminou-se a influência do gume transversal e do atrito no gume lateral. O ângulo de saída γ da broca, que é variável ao longo do gume principal, foi substituído por um ângulo de saída mediano $\bar{\gamma}$ na ferramenta de torrear. O ângulo de incidência α , ângulo de inclinação λ , ângulo de posição χ , ângulo da ponta ϵ , e a profundidade de corte foram iguais para os dois processos, enquanto as demais variáveis foram mantidas sob idênticas condições.

b) Furação com pré-furo.

Para se determinar a influência dos componentes atrito do gume lateral e atrito do cavaco, planejou-se o processo de furação com pré-furo, pois, neste caso, apenas as já conhecidas forças do corte ortogonal; momento torsor e força axial, atual sobre o processo. Fig. (2).

A força de corte na furação ortogonal e furação com pré-furo é mantida com o auxílio do momento torsor M_d e sob a suposição de que a força de corte resultante localiza-se no

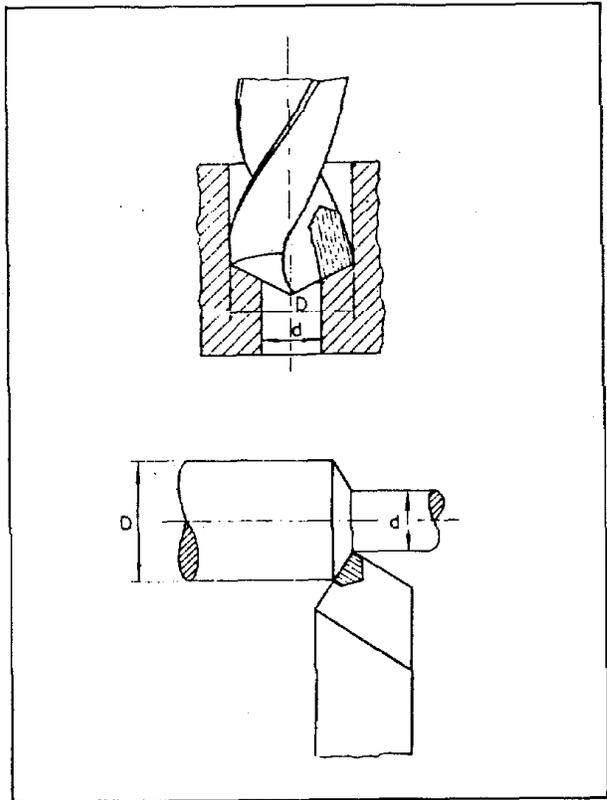


FIGURA 2 — Experiência planejada para estudar a composição das componentes da força específica de usinagem, sem a influência da aresta transversal.

centro da largura de corte b , sendo calculada de acordo com as seguintes equações⁽²⁾:

força de corte relativa:

$$F_c = \frac{4 \cdot Md \cdot \text{Sen} \chi}{D^2 - d^2} \quad (2)$$

A força de avanço F_f corresponde basicamente à força axial parcial.

força de avanço relativa:

$$\frac{F_f}{b} = \frac{F_a \cdot \text{Sen} \chi}{D - d} \quad (3)$$

Quanto às forças passivas F_p , não foi possível determiná-las, uma vez que estão colocadas umas contra as outras, impossibilitando, portanto, sua comparação com as forças passivas do torneamento.

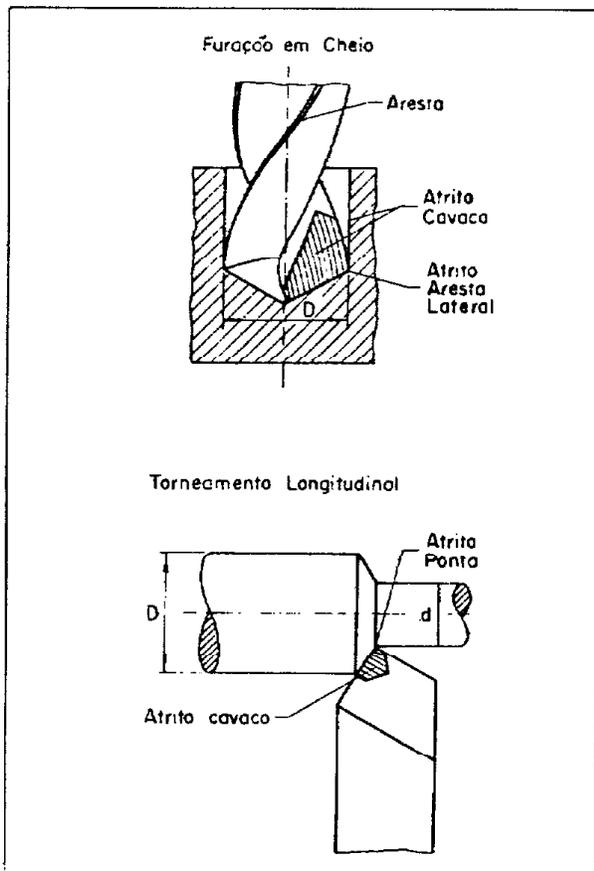


FIGURA 3 – Experiência planejada para estudar a composição das componentes da força específica de usinagem, sob a influência dos fatores específicos do processo de furação.

c) Furação em cheio

O corte transversal, que não aparece na furação com pré-furo, é visível na furação em cheio, de modo que com esta experiência pôde-se determinar quantitativamente a influência deste componente sobre a força de usinagem, para uma broca. Fig (3).

Para a determinação das forças na furação em cheio, utilizaram-se as seguintes equações⁽²⁾:

força de corte relativa:

$$\frac{F_c}{b} = \frac{2 \cdot Md \cdot \text{Sen} \chi}{0,38 \cdot D^2} \quad (4)$$

força de avanço relativa:

$$\frac{F_f}{b} = \frac{F_a \cdot \text{Sen} \chi}{D} \quad (5)$$

Como para o torneamento, usou-se um ângulo de saída igual ao ângulo de saída médio da broca, planejou-se uma experiência com o ângulo de saída constante ao longo da largura de corte da broca, na furação em cheio, com o objetivo de verificar-se a sua influência sobre os componentes da força de usinagem.

EQUIPAMENTOS PARA ANÁLISE EXPERIMENTAL

Os ensaios de torneamento foram realizados em um torno horizontal com regulagem contínua de rotação, enquanto os ensaios de furação foram realizados em centro de usinagem comandado numericamente. Para a medição das componentes da força de usinagem, foi utilizado um dinamômetro piezelétrico a cristal de quartzo, que gera uma carga proporcional à força aplicada, sendo este sinal amplificado por um amplificador de carga. Após a amplificação, o sinal analógico foi convertido em sinal digital por um "DATA ACQUISITION", sendo este armazenado em um microcomputador.

Como material de teste, foi utilizado o aço ABNT 1020, sendo as ferramentas de toroar e as brocas, de aço rápido.

Com o objetivo de padronizar os ensaios, os avanços e as velocidades de corte foram escolhidas dentre os valores da série normalizada R 10:

v_c : 16 – 20 – 25 e 31,5 m/min

f : 0,052 – 0,061 – 0,073 – 0,097 – 0,121 – 0,153 – 0,194 – 0,243 – 0,307 – 0,388 mm/rot.

A profundidade de corte, os ângulos de saída, de folga, de inclinação e de posição foram iguais, tanto para os en-

saos de torneamento com o para a furação.
Cada ensaio foi repetido três vezes.

A aquisição, processamento e documentação dos dados foram realizados automaticamente por um microcomputador, sendo o "software" desenvolvido em linguagem "basic", em que se procurou a máxima facilidade de operação e rapidez de aquisição.

O programa para aquisição de forças no torneamento e na furação é constituído de várias sub-rotinas, cada uma com função específica, de modo que com pequenas alterações, o programa pode ser usado para medir os componentes da força de usinagem: força de corte, força de avanço e força passiva para o torneamento, ou medir a força axial e o momento torsor na furação.

As leituras dos componentes da força de usinagem de cada ensaio foram armazenados em uma tabela de dados brutos e, após um cálculo matemático adequado, para determinação das variáveis da equação de Kienzle, os resultados foram mostrados em um gráfico comparativo $v_c \times K_{c1,1}$ e $v_c \times K_{f1,1}$ para o torneamento e furação, onde os resultados obtidos para as diversas experiências, puderam ser analisados.

RESULTADOS

Os resultados obtidos estão mostrados nos gráficos (4) a (7), onde, para cada velocidade, foram plotados os diversos valores específicos de força, obtidos para as diversas experiências de torneamento e furação, juntamente com suas respectivas incertezas de resultado.

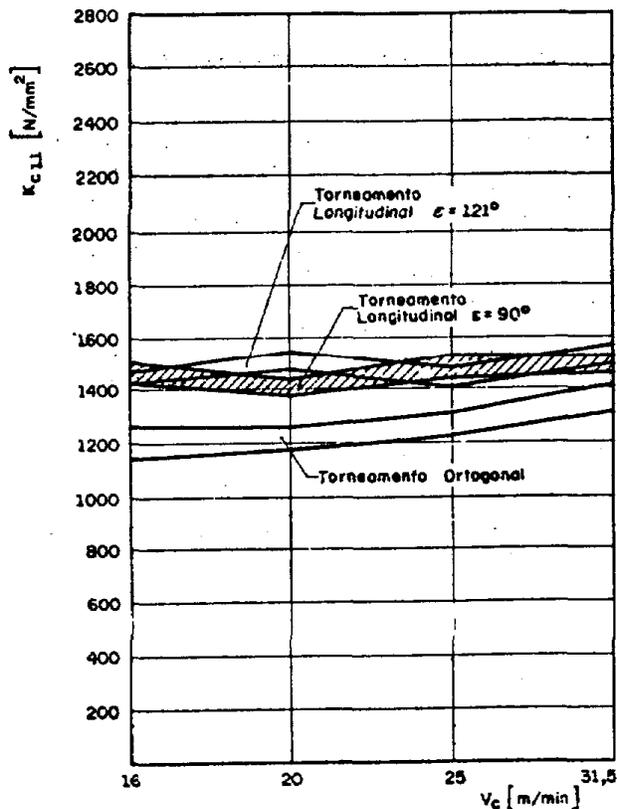


FIGURA 4 — Resultado da medição da força específica de corte para o torneamento em função da v_c

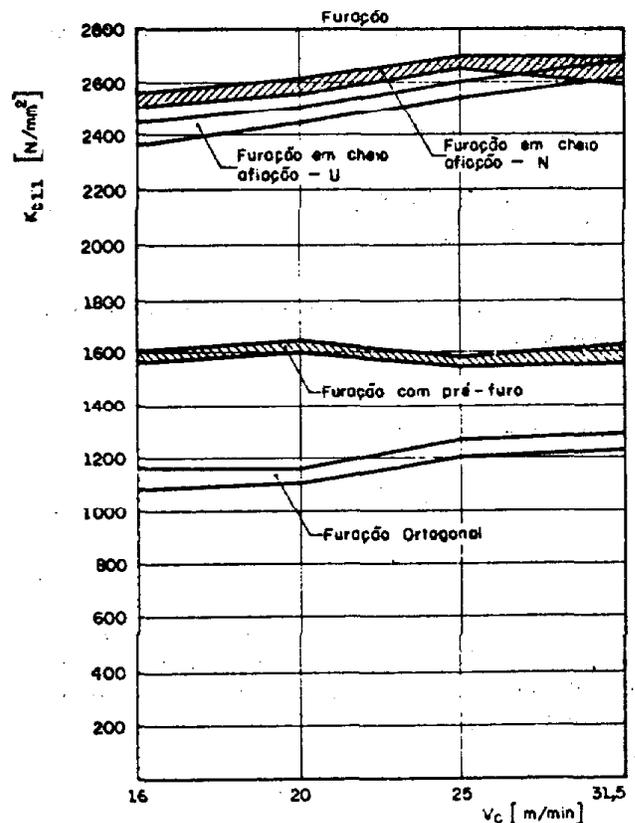


FIGURA 5 — Resultado da medição da força específica de corte para a furação em função da v_c

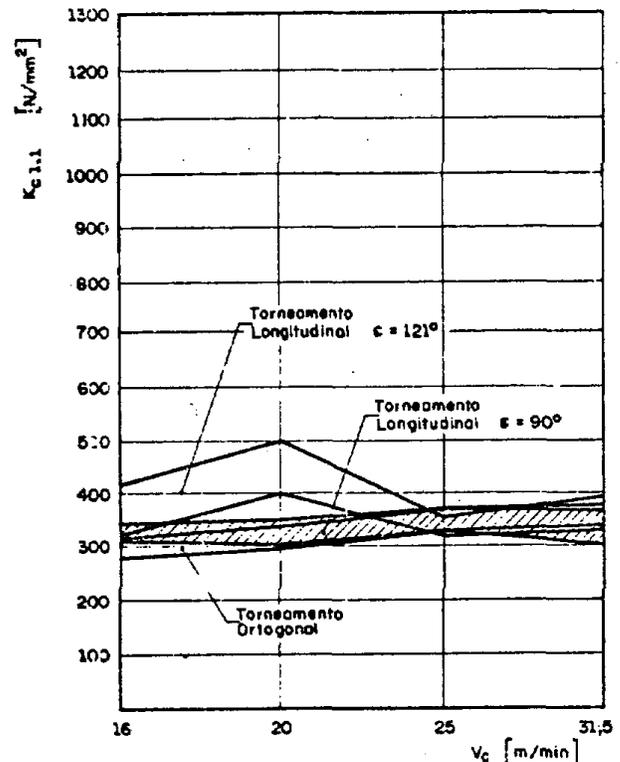


FIGURA 6 — Resultado da medição da força específica de avanço para o torneamento em função da v_c

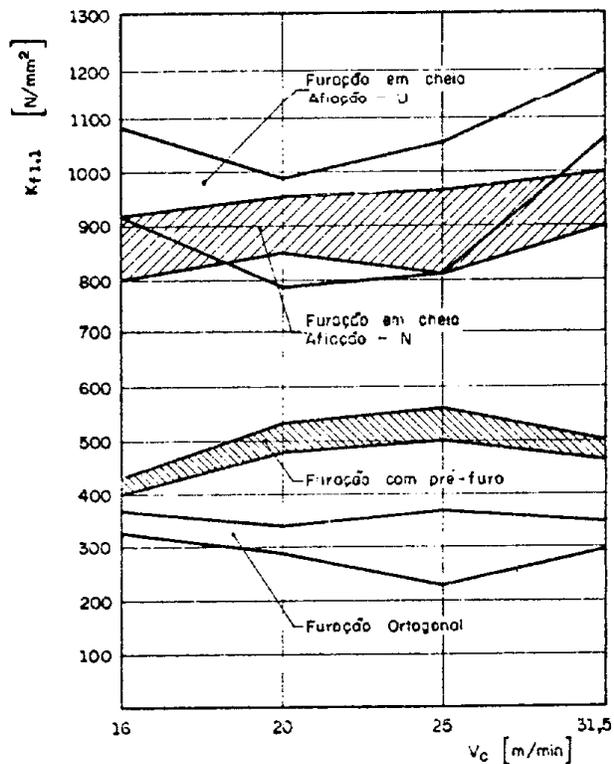


FIGURA 7 — Resultado da medição da força específica de avanço para a furação em função da v_c .

ANÁLISE DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

Verificou-se, uma pequena dispersão nas forças específicas de corte e de avanço para idênticas condições de velocidade de corte, tanto no processo de torneamento, como no de furação.

Esta dispersão é devida à constante mudança do ângulo de saída efetivo e das relações de atrito na superfície de saída, durante a usinagem.

Verificou-se uma pequena elevação das forças de usinagem na furação com pré-furo em relação às forças do processo ortogonal, justificada pelo fato de a aresta lateral e a própria condução do cavaco aumentarem as forças específicas de corte e de avanço.

Quanto às forças de usinagem da furação em cheio, ficou claro que, de maneira alguma são iguais às do processo de torneamento, como muitas vezes é enfatizado pela literatura. As ações de todos os fatores de influência específicos do processo de furação e, especialmente, do corte transversal, provocam um aumento de cerca de 75% nas forças específicas de corte e cerca de 280% nas forças específicas de avanço em relação ao torneamento.

A utilização de brocas com ângulo de saída constante, ao longo do gume, não apresentou alteração relevante nas forças de usinagem, comparativamente à afiação normal.

Verificou-se que a influência do gume lateral sobre a força específica de corte é pequena, para profundidades de furos inferiores a 2,5 vezes o diâmetro da broca, podendo se afirmar que estas são iguais à do torneamento, variando de 1,01 a 1,17, em relação ao torneamento.

Para a força específica de avanço, observou-se uma elevação nos valores do processo de furação, variando de 8 a 53%.

Para a furação em cheio, a força específica de corte aumentou de 55 a 95% em relação ao torneamento.

Concluímos que, devido à grande semelhança existente entre o corte de uma broca e o de uma ferramenta de torneamento, é possível a determinação de um modelo para a força de usinagem na furação, a partir do modelo de usinagem do torneamento, realizando-a com grande economia de material e de tempo.

Respeitando-se as peculiaridades do processo de furação, aplicando-se fatores de correção, pode-se utilizar o modelo de Kienzle para o torneamento, na furação:

força de corte:

$$F_c = f_{FC} \cdot b \cdot K_{c1,1} \cdot h^1 \cdot m_c \quad (6)$$

força de avanço:

$$F_f = f_{FP} \cdot D \cdot K_{f1,1} \cdot h^1 \cdot m_f \quad (7)$$

onde:

f_{FP} = fator de usinagem, representativo da influência da aresta lateral e do atrito provocado pela saída do cavaco.

f_{FC} = fator de usinagem representativo da influência dos fatores específicos da furação em cheio.

Encontrando-se os fatores de correção mostrados na tabela 1.

Fator de correção	força específica	
	de corte	de avanço
Furação em cheio f_{FC}	1,55 – 1,95	2,16 – 3,33
Furação com pré-furo f_{FP}	1,01 – 1,17	1,08 – 1,53

Tabela 1 — Fatores de correção para a furação em relação ao torneamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- KIENZLE, O & H. VICTOR. Schnittkräfte bei der Metallbearbeitung. *Werkst und Masch.* 47(5) (1957), p. 224.225.
- WITTE, L. *Spezifische Zerspankräfte beim Drehen und Bohren.* Aachen. TH, 1980. Diss.
- ROCHA, A. S. *Determinação do Modelo de Força de Usinagem da Furação a partir do Modelo de Torneamento.* Florianópolis, UFSC, 1985. Dissertação.
- SPUR, G. *Beitrag zur Schnittkraftmessung beim Bohren mit Spiralbohren unter Berücksichtigung der Radialkräfte.* Braunschweig. TU, 1960. Diss.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. Nbr-8163. Ferramentas de Usinagem Geometria da Cunha Cortante. Procedimento. Rio de Janeiro, ABNT, 1980.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR - 7432. Broca Helicoidal de aço-rápido. Especificação. Rio de Janeiro, ABNT, jul. 1982.