

# AValiação DO PROCESSO DE ALARGAMENTO DE GUIAS DE VÁLVULA COM FERRAMENTAS MONOCORTANTES

**Rodrigo Gonçalves dos Santos**

Universidade Federal do Paraná, Centro Politécnico – Caixa Postal 19011  
CEP 81531-990 – Curitiba PR

**Dalberto Dias da Costa**

Universidade Federal do Paraná, Centro Politécnico – Caixa Postal 19011  
CEP 81531-990 – Curitiba PR – [dalberto@demec.ufpr.br](mailto:dalberto@demec.ufpr.br)

**Resumo.** *O alargamento é um processo de usinagem complementar, sendo utilizado para melhorar a qualidade de furos de seção circular obtidos por outros processos, tais como: furação, fundição ou conformação. A usinagem de guias de válvula é um bom exemplo da aplicação desse processo. Alargadores monocortantes com insertos de diamante são vastamente empregados. O objetivo deste trabalho foi investigar a influência dos parâmetros velocidade de corte, avanço e profundidade de corte na qualidade dos furos alargados. A qualidade foi avaliada pelos desvios de circularidade e cilindridade dos furos e pela rugosidade da superfície usinada. Um procedimento experimental 2<sup>3</sup> foi implementado de tal forma que cada variável independente fosse ensaiada em dois níveis de interesse. Todos os testes foram realizados em um centro de usinagem horizontal com alargadores monocortantes com aresta de corte em diamante policristalino. Os resultados obtidos permitem identificar uma influência significativa da profundidade de corte sobre os desvios de cilindridade e circularidade quando comparadas às demais variáveis independentes. No tocante à rugosidade, observou-se uma maior influência do avanço.*

**Palavras-chave:** *alargador, sobremetal, avanço.*

## 1. INTRODUÇÃO

Os alargadores monocortantes têm a vantagem de separar as funções de corte e guia em elementos de trabalho diferentes (guia ou sapata e lâmina de corte). Desta forma, há a possibilidade de ajuste de diâmetro e troca do consumível (lâmina). A usinagem é dividida em corte pela aresta de corte principal e alisamento nas arestas laterais ou régua de guias, na qual guiam a ferramenta se apoiando na superfície do furo (Weinert<sup>(1)</sup>).

A geometria das arestas de corte dos alargadores convencionais (multicortantes) limitam a precisão de forma e dimensional exigidas. Na execução de furos de qualidade ainda maior do que a obtida com alargadores convencionais, o alargador com única aresta de corte regulável tem grande importância. Estes alargadores executam furos com alta qualidade, e permitem utilizar maiores velocidades de corte.

A precisão e acabamento do furo alargado dependem da fixação da peça, rigidez da máquina-ferramenta, parâmetros de corte, aplicação de fluido de corte e principalmente da condição do pré-furo. A condição inicial do pré-furo a ser alargado, como cilindridade, retinidade e regularidade da superfície são de fundamental importância para o acabamento. Segundo Lugscheider<sup>(2)</sup>, os alargadores tendem a acompanhar a linha de centro do pré-furo, sendo que pode ser necessário

mandrilar o mesmo. Ferraresi<sup>(3)</sup>, também comenta que os desvios de posicionamento do pré-furo, não podem ser corrigidos com alargadores de acabamento.

Segundo Kress<sup>(4)</sup>, nos alargadores com única aresta cortante, o diâmetro do furo gerado é maior que o valor de regulagem da ferramenta, pois o diâmetro formado pelas guias da ferramenta é menor e o centro do diâmetro não coincide com o diâmetro do alargador, gerando uma excentricidade. As guias estão distribuídas radialmente e suportam as forças de usinagem, e conduzem rigidamente a ferramenta, o que possibilita a usinagem de furos longos e com pequenos diâmetros.

Eckhardt<sup>(3)</sup> comenta que os parâmetros para a usinagem (tais como avanço, velocidade de corte e profundidade de corte) são fundamentais para a boa qualidade superficial e geométrica da peça, e como consequência a viabilidade econômica da utilização de um alargador. Nos catálogos de fabricantes em geral, os dados de corte preconizados são valores médios e orientativos, variando conforme cada aplicação específica. As principais variáveis são: material e geometria da peça; tipo de máquina; tipo de fixação da peça e da ferramenta; e acabamento e tolerâncias desejados.

As baixas velocidades de corte diminuem a produtividade sem o aumento significativo na vida da ferramenta. Com altas velocidades de corte podem ocorrer lascas e maior desgaste na aresta de corte (Weingaertner<sup>(6)</sup>). Entretanto, as menores velocidades podem gerar arestas postiças de corte, que prejudica o acabamento superficial.

É recomendada a alimentação interna de fluido de corte das ferramentas, pois é possível utilizar maiores velocidades de corte sem prejudicar o acabamento do furo alargado, ocorrendo a melhor lubrificação das réguas de guias e da aresta de corte (Kress<sup>(4)</sup>).

O avanço depende principalmente do tipo e geometria do alargador, profundidade de corte e acabamento superficial requerido. É recomendado a redução do avanço com o aumento da profundidade de corte. Um avanço muito alto geralmente diminui a qualidade da superfície do furo, e um avanço muito baixo pode gerar uma superfície deformada devido ao esmagamento e não corte da aresta durante a usinagem (Ferraresi<sup>(3)</sup>).

Bezerra<sup>(7)</sup> comenta que para o alargador convencional, com o maior avanço ocorre a aproximação do diâmetro do furo gerado com o diâmetro regulado no alargador, pois avanços pequenos aumentam o tempo de contato da ferramenta com as paredes do furo, o que geralmente o abrem. Schroeter<sup>(8)</sup>, encontrou a mesma tendência no alargamento de alumínio com ferramentas monocortantes.

A influência da profundidade de corte no alargamento é maior para a rugosidade dos furos, pois uma pequena quantidade de material removido ocasiona o esmagamento do mesmo (deformação plástica) que produz irregularidades na superfície. Com valores maiores de profundidade de corte, ocorre o aumento dos esforços de corte gerando vibrações, o que pode piorar a rugosidade superficial (Schroeter<sup>(8)</sup> e Eckhardt<sup>(3)</sup>). Segundo Bezerra<sup>(7)</sup>, os mesmos fenômenos que perturbam a rugosidade podem ser considerados para os erros de forma.

O objetivo deste trabalho é estudar a influência das condições de usinagem, velocidade de corte, avanço e profundidade de corte, sobre a rugosidade média e erros de forma das guias de válvulas de motores de combustão interna.

## 2. METODOLOGIA

Foram utilizadas guias de válvulas em uma liga de latão CuZn36Mn já pré-furadas. Estas guias são prensadas em um alojamento pré-alargado, e fixadas por interferência mecânica. Nos ensaios foram utilizados 2 cabeçotes de motores de combustão interna com 16 válvulas. A sequência de usinagem das guias de válvulas foi aleatória, variando os parâmetros de corte para cada guia. Os cabeçotes foram fixados por um dispositivo hidráulico.

O ensaio foi realizado com um fluido de corte semi-sintético com concentração de 16% de óleo lubrificante, em um centro de usinagem horizontal da marca Grob, modelo BZ500.

Utilizou-se um alargador com única aresta de corte em PCD, com refrigeração interna e diâmetro de 5,5 mm. Variaram-se os fatores profundidade de corte ( $a_p$ ), avanço (f) e velocidade de

corte ( $V_c$ ) em dois níveis, gerando um arranjo experimental  $2^3$  com quatro replicações. Na figura 1 é possível ver a representação espacial do arranjo citado.

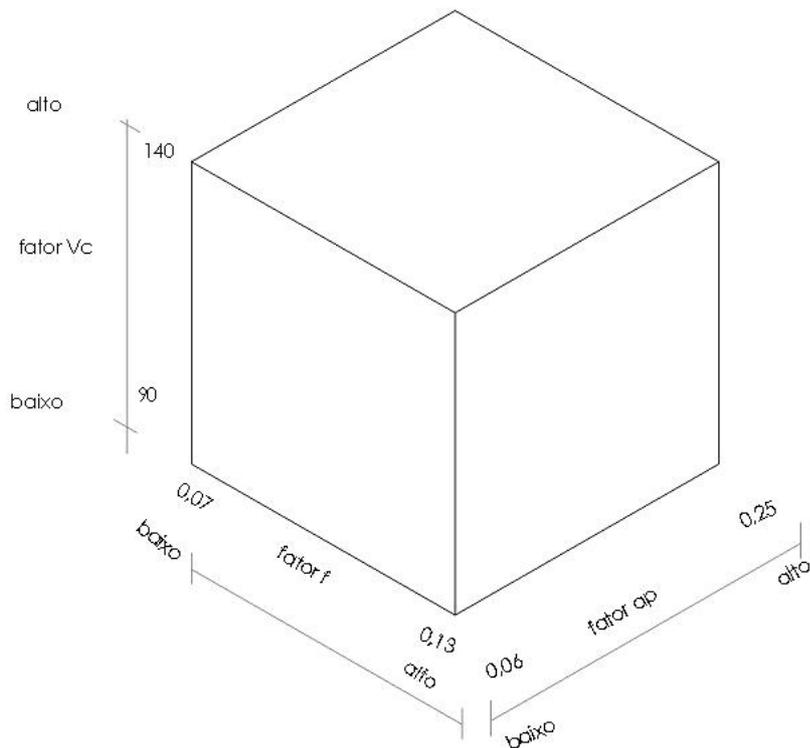


Figura 1. Representação espacial do arranjo  $2^3$

Na tabela 1 é possível visualizar os parâmetros utilizados; onde  $a_p$  é a profundidade de corte,  $V_c$  a velocidade de corte e  $f$  o avanço por volta.

Tabela 1. Parâmetros Utilizados

$a_p$ (mm)	$V_c$ (m/min)	$f$ (mm/rev)
0,06	90	0,07
0,25	140	0,13

Para a profundidade de corte de 0,25 mm foi utilizado um alargador piloto que abriu a entrada das guias de válvulas em 5,3 mm nos primeiros 6 mm de comprimento das guias de válvulas, tendo a função de uma bucha-guia (esquema na figura 2). O menor sobremental foi executado por um alargador que ultrapassou toda a extensão das guias de válvulas. Todas as medições das variáveis dependentes  $R_a$ , cilíndricidade e circularidade foram realizadas na região da profundidade de corte uniforme (fora da região da piloto).

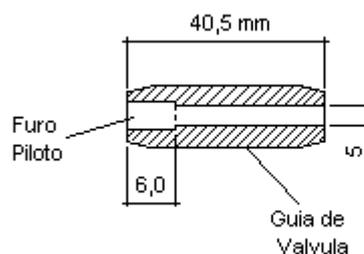


Figura 2. Esquema da usinagem piloto das guias de válvulas ( $a_p$  0,25 mm)

O rugosímetro utilizado foi o Perthometer S2 da Mahr GmbH, com apalpador Mahr MWF-250 com raio de 2  $\mu\text{m}$ . A máquina de medição por coordenadas utilizada foi a Carl Zeiss, modelo UPMC 850 Standard e foi utilizada para a medição dos erros de forma dos furos.

Construiu-se a tabela da ANOVA (análise da variância) para identificar qual variável apresentou diferença estatisticamente significativa. Utilizou-se o teste de comparação múltipla LSD (*Least Significant Difference*) com confiança de 95,0% para analisar quais médias são estatisticamente diferentes.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na tabela 2 é possível analisar a tabela da ANOVA. Os resultados com significância estatística são os que apresentam valor de P menor que 0,05 (5%).

Tabela 2. ANOVA para a rugosidade, circularidade e cilindricidade

Variável Independente	Fator	GL	Soma dos Quadrados	Estatística F	Valor P
Ra	Vc	31	0,09770	0,14	0,7121
	f	31	0,09770	21,34	0,0001
	a <sub>p</sub>	31	0,09770	0,28	0,6007
Cilindricidade	Vc	31	0,0000413	0,87	0,3590
	f	31	0,0000413	1,41	0,2449
	a <sub>p</sub>	31	0,0000413	7,77	0,0091
Circularidade	Vc	31	0,0000413	0,08	0,7765
	f	31	0,0000413	0,70	0,4088
	a <sub>p</sub>	31	0,0000413	6,87	0,0136

#### 3.1. Rugosidade

A rugosidade não apresentou variação estatisticamente significativa das médias para a velocidade de corte. A rugosidade média praticamente não variou (0,012  $\mu\text{m}$ ) com a mudança da velocidade de corte. Na figura 3 pode-se verificar a influência da velocidade de corte sobre o Ra.

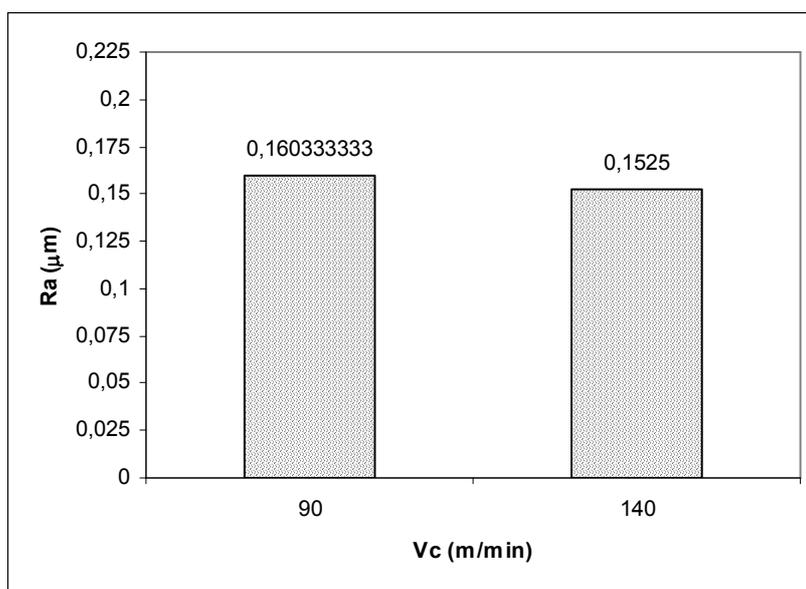


Figura 3. Influência da velocidade de corte sobre o Ra ( $\mu\text{m}$ )

Devido à boa condição de aplicação do fluido de corte, bem como a rigidez da máquina-ferramenta, permitiram o aumento da velocidade de corte sem o aumento das vibrações, que poderiam deteriorar o acabamento superficial dos furos (Kress<sup>(4)</sup>). Nos ensaios de Bezerra<sup>(7)</sup>, foi encontrado o aumento da rugosidade com o aumento da velocidade de corte no alargamento de alumínio, isto devido ao aumento dos esforços e vibrações durante a usinagem. Contudo, Weinert<sup>(1)</sup> com alargador monocortante em um aço endurecido, identificou a redução da rugosidade com o aumento da velocidade de corte.

Desta forma, para as condições adotadas aqui, pode-se dizer que as velocidades de corte na faixa 140 m/min não interferem rugosidade do furo das guias de válvula, podendo ser aumentada a produtividade deste processo. Entretanto, não foi considerado a vida de utilização da ferramenta.

Nos trabalhos de Eckhardt<sup>(3)</sup> e Schroeter<sup>(8)</sup>, para o alargamento em alumínio com ferramenta monocortante, não foi encontrado variação significativa da rugosidade com a velocidade de corte, enquanto Kress<sup>(4)</sup>, para o alargamento em aço, detectou um pequeno aumento em  $R_t$  com o aumento da velocidade de corte até a velocidade de 160 m/min, sendo que a rugosidade começou a reduzir-se a partir de 240 m/min.

A taxa de avanço mostrou-se estatisticamente influente sobre a rugosidade média dos furos, sendo que com o aumento do avanço tem-se o aumento da rugosidade. Na figura 4 é possível analisar as médias de rugosidade pela distribuição de probabilidade *t de Student* com 95% de grau de confiança.

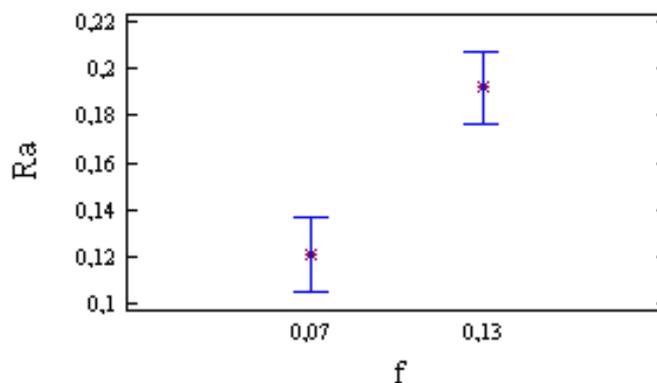


Figura 4. Comparação múltipla das médias de  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ) com a variação do avanço (mm/v)

Com menor avanço é possível reduzir em 60% da rugosidade média do furo. Porém, deve-se observar que o tempo de corte é quase duplicado. Esses resultados são coerentes com a maioria dos trabalhos realizados sobre alargamento, por exemplo, Eckhardt<sup>(3)</sup> e Schroeter<sup>(8)</sup>.

A variação da profundidade de corte não apresentou diferença estatística nos resultados das médias da rugosidade. Na figura 5 é possível ver a pequena variação do  $R_a$ . A pequena influência da profundidade de corte pode ser atribuída à boa rigidez do conjunto peça e máquina-ferramenta, que absorve os maiores esforços de usinagem ocasionados pela maior profundidade de corte. Contudo, segundo Eckhardt<sup>(3)</sup>, a mudança da geometria de corte do alargador, principalmente o ângulo de direção, pode melhorar os resultados independente da profundidade de corte empregada. Assim, a maior profundidade de corte necessita, em geral, de um maior ângulo de entrada.

Em seus ensaios, Bezerra<sup>(7)</sup> identificou pior rugosidade em menores profundidades de corte, para o alumínio com alargador convencional. Este efeito ocorreu, segundo o autor, devido à pequena quantidade de material removido, conduzindo a um “esmagamento” da superfície dos furos. Nos resultados de Schroeter<sup>(8)</sup>, também foi evidenciada a piora da rugosidade com uma pequena profundidade de corte. Contudo, Eckhardt<sup>(3)</sup> não encontrou diferenças dos resultados de rugosidade com a variação da profundidade de corte.

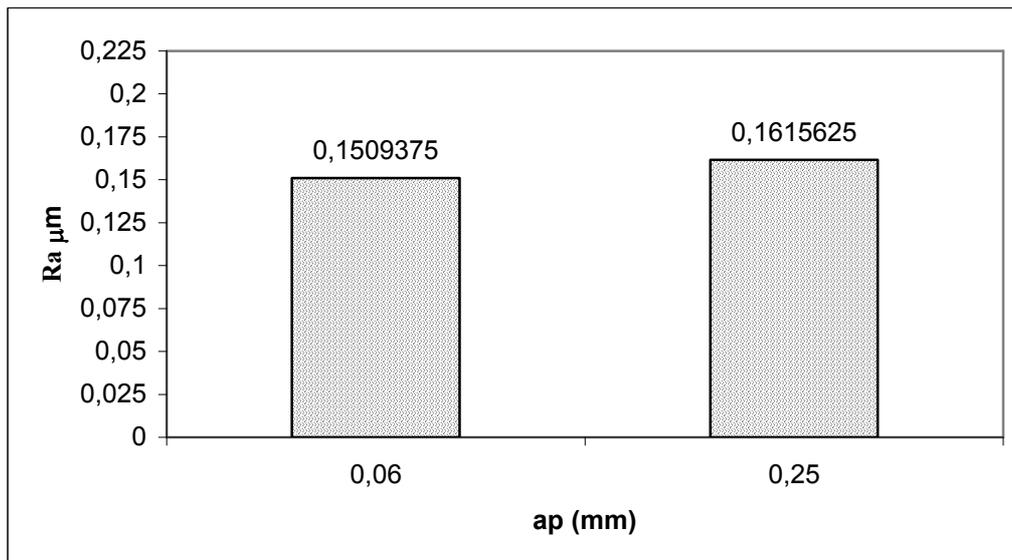


Figura 5. Resultados de Ra (mm) com a variação da profundidade de corte (mm)

Apesar de ter sido observado uma influencia significativa do avanço sobre a rugosidade (Ra), deve-se considerar que houve interação entre esse fator e a profundidade de corte. A tabela 3 contém os resultados da ANOVA para essa interação.

Tabela 3. ANOVA para interação entre o avanço e a profundidade

Fonte	Fator	GL	Soma dos Quadrados	Estatística F	Valor P
Efeitos principais	f	1	0,00406	44,50	0
	$a_p$	1	0,000903	0,99	0,3284
Interações	$f \times a_p$	1	0,0306281	33,56	0
Resíduo		28	0,0255562		
Total		31	0,0977		

### 3.2. Erros de Forma

Os erros de forma apresentaram variação de resultados em torno de  $0,3 \mu\text{m}$  para a alteração da velocidade de corte, não apresentando significância estatística. Na figura 6 é possível visualizar os resultados. Bezerra<sup>(7)</sup> encontrou uma tendência contrária para a cilindridade, ou seja, aumento do desvio de cilindridade com o aumento da velocidade de corte. O motivo apresentado por Bezerra<sup>(7)</sup> foi o aumento das vibrações com o aumento da  $V_c$ .

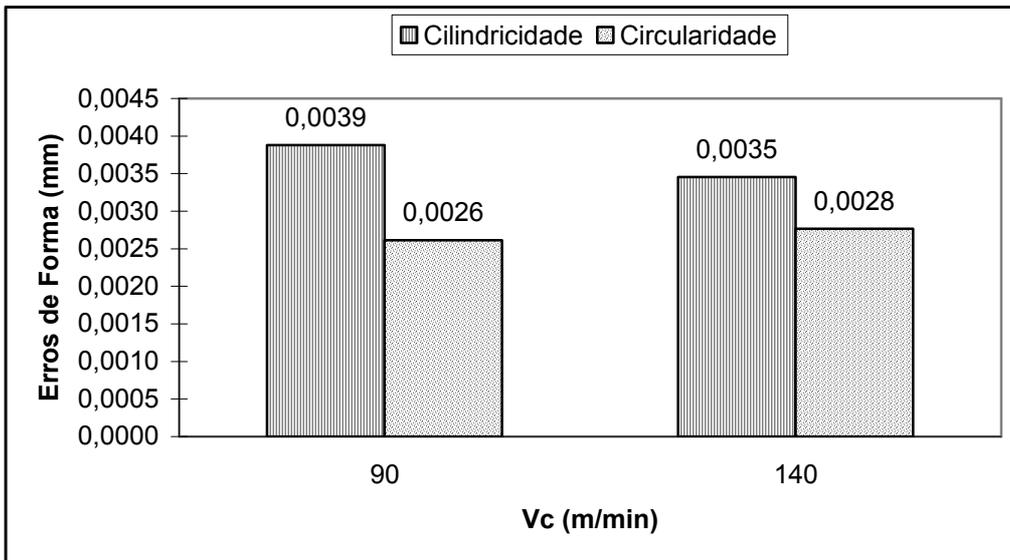


Figura 6. Valores de cilindridade e circularidade (mm) com a variação de Vc (m/min)

A diferença entre os avanços não foi significativa nos resultados de cilindridade e circularidade, como pode ser visto na figura 7.

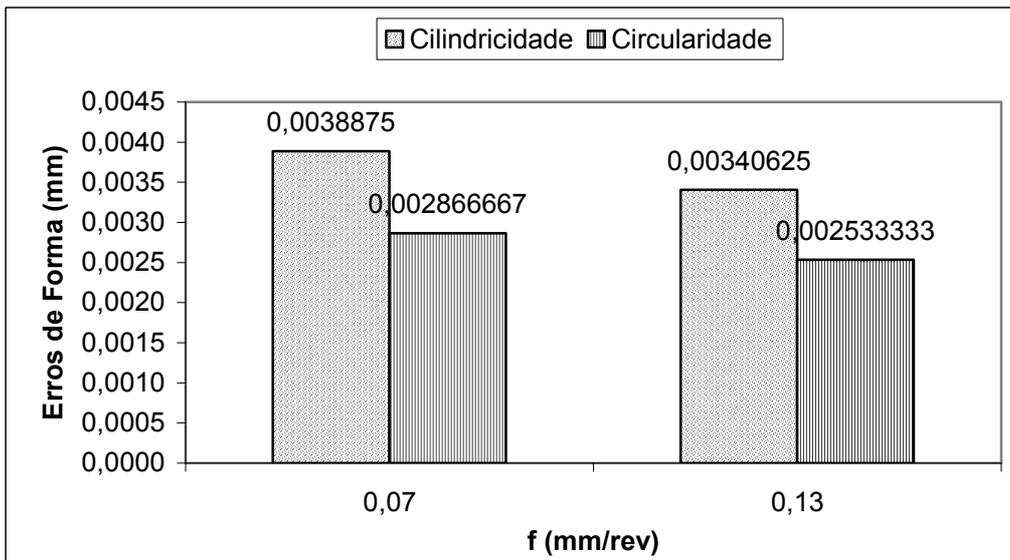


Figura 7. Resultados de circularidade e cilindridade (mm) com a variação de f (mm/rev)

A variação da profundidade de corte teve grande influência sobre o erro de forma das guias de válvula. Nas figuras 8 e 9, é possível analisar a influência do sobremetal sobre o erro de cilindridade e circularidade das guias de válvula.

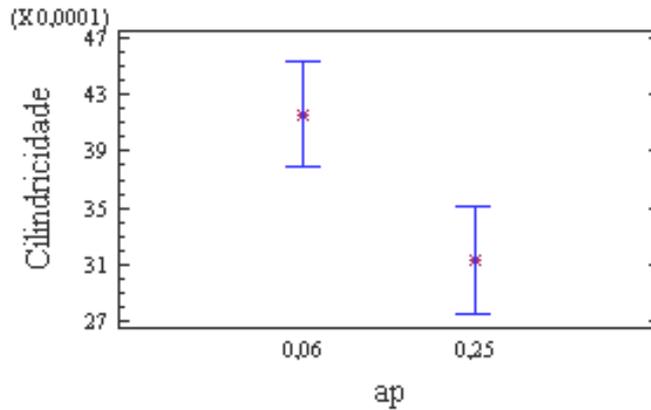


Figura 8. Comparação múltipla das médias de cilindridade (mm) com a variação de  $a_p$  (mm)

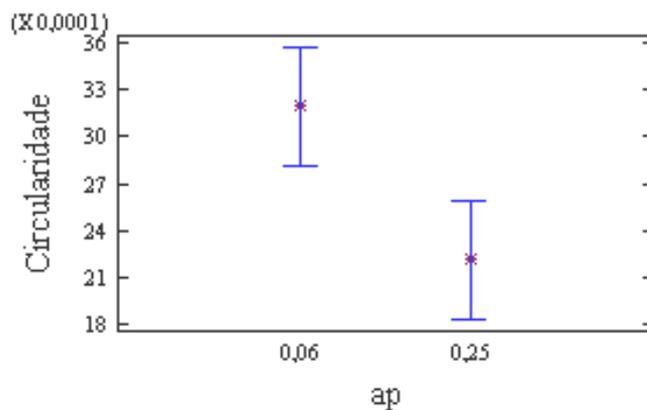


Figura 9. Comparação múltipla das médias de circularidade (mm) com a variação de  $a_p$  (mm)

Os desvios de forma foram menores com a maior profundidade de corte, pois não ocorre a ação de partículas aderidas na superfície dos furos devido à pequena profundidade de corte (deformação plástica durante a usinagem). Este resultado vai de encontro ao estudo de Bezerra<sup>(7)</sup>, para  $a_p$  variando de 0,1 até 0,30 mm.

Nos ensaios de Kress<sup>(4)</sup>, Eckhardt<sup>(3)</sup> e Schroeter<sup>(8)</sup>, não houve relação das variáveis velocidade de corte e avanço com os erros de forma. Kress<sup>(4)</sup>, comenta que o desalinhamento do eixo da ferramenta com o eixo do pré-furo a ser alargado gera o defeito de cilindridade.

#### 4. CONCLUSÕES

Com base nos ensaios realizados, é possível concluir que a velocidade de avanço tem grande influência sobre a rugosidade média (como esperado). Os resultados de circularidade e cilindridade dos furos foram influenciados pela variação da profundidade de corte. A velocidade de corte não apresentou significância estatística sobre a rugosidade e erros de forma.

Os resultados apresentados podem sofrer alterações se alguns parâmetros relativos ao processo de alargamento forem modificados, como por exemplo: geometria e material da lâmina de corte, alimentação e tipo do fluido de corte, erro de concentricidade entre o pré-furo e o eixo da ferramenta, entre outros fatores.

## 5. REFERÊNCIAS

1. WEINERT, K. et al. Alargadores de corte único: corte mais eficiente, além de vantagens econômicas. **Revista Máquinas e Metais**, São Paulo, n. 392, p. 38-57, jan. 1998.
2. LUGSCHEIDER, E. et al. Investigations on hard coated reamers in different lubricant free cutting operations. **Surface & Coatings Technology**, v. 90, n. 1-2, p 172-177, Mar. 1997.
3. FERRARESI, D. **Usinagem dos metais**. São Paulo: ABM, 1975. Apostila.
4. KRESS, D. **El escariado con altas velocidades**. Tese de Doutorado - Universidad de Stuttgart, Stuttgart, 1974.
5. ECKHARDT, M. **Utilização de alargadores de gume único regulável para a obtenção de furos de precisão**. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1993.
6. WEINGAERTNER, W. L.; SCHROETER, R. B. **Processos de usinagem e ferramentas de corte**. Florianópolis: UFSC, 2001. Apostila.
7. BEZERRA, A. A. et al. Effects of machining parameters when reaming aluminium-silicon (SAE 322) alloy. **Journal of Materials Processing Technology**, v 112, p 185-198, 2001.
8. SCHROETRER, R. B. **Alargamento de precisão em alumínio aeronáutico com ferramentas de gume único regulável**. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1989.

## THE EVALUATION OF THE VALVE GUIDES REAMING PROCESS WITH SINGLE BLADE TOOLS

### Rodrigo Gonçalves dos Santos

Universidade Federal do Paraná, Centro Politécnico – Caixa Postal 19011  
CEP 81531-990 – Curitiba PR

### Dalberto Dias da Costa

Universidade Federal do Paraná, Centro Politécnico – Caixa Postal 19011  
CEP 81531-990 – Curitiba PR – [dalberto@demec.ufpr.br](mailto:dalberto@demec.ufpr.br)

**Abstract.** Reaming is a process of complementary machining, used to improve the quality of the circular section holes obtained from other processes, such as: drilling; melting or forming. The valve guide machining is a good example for the application of this process. The diamond single blade reamers are widely used. The aim of this work is to investigate the influence of the cutting speed, feed rate and allowance parameters in the quality of the reaming holes. This quality was quantified by the roundness and cylindricity of the reamed holes and by the roughness of the surface finish. An experimental matrix  $2^3$  was implemented to allow each independent variable to be assayed in two levels of interest. All these tests were done in the horizontal machining center with a single blade reamer with edge polycrystalline diamond cutting. The results obtained allow identifying a significant influence in the depth of cut against the cylindricity and roundness deviation when compared to the other independent variables. Regarding the roughness, a greater influence in the feed rate was observed.

**Keywords:** reamer, allowance, feed