



ALARGAMENTO CÔNICO DO FERRO FUNDIDO NODULAR GGG 40

Rosemar Batista da Silva

Alexandre Mendes Abrão

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Mecânica - Belo Horizonte, MG, Brasil rosemar@demec.ufmg.br

Álison Rocha Machado

Márcio Bacci da Silva

Universidade Federal de Uberlândia, Departamento de Engenharia Mecânica - Campus Santa Mônica - Uberlândia, MG, Brasil
alissonm@mecanica.ufu.br

Resumo. *Este trabalho apresenta um estudo sobre influência dos parâmetros de corte (velocidade de corte e avanço) sobre acabamento da superfície de furos cônicos durante a operação de alargamento cônico do ferro fundido nodular GGG 40, utilizando alargadores multicortantes do tipo cônico de metal duro integral. A operação de alargamento de acabamento foi precedida pelo alargamento de desbaste e pré-furação com broca escalonada. Para o acabamento foram analisadas as seguintes velocidades de corte: 16, 26, 30 e 36 m/min combinadas com avanços de 0,20 e 0,25 mm/rot. Os resultados mostraram que valores mais baixos de rugosidade da superfície podem ser conseguidos utilizando-se velocidades de corte e avanços menores. Além disso, verificou-se que, em geral, o valor da rugosidade aumenta com o número de furos produzidos.*

Palavras-chave: *Alargamento, Ferro fundido nodular, Metal duro integral*

1. INTRODUÇÃO

Cada vez mais, estudos têm sido realizados visando alcançar melhor qualidade de acabamento e tolerâncias mais estreitas na produção de furos, e a combinação correta de ferramentas de corte, como por exemplo brocas e alargadores, tem se mostrado eficiente neste aspecto.

O uso de brocas helicoidais na operação de pré-furação para uma condição de desbaste produz tolerâncias de fabricação que variam entre as qualidades ISO IT11 e IT14. Para melhorar o acabamento da superfície de furos empregam-se alargadores de desbaste e de acabamento que produzem um melhor acabamento e dimensões mais exatas (Stemmer, 1995). Com brocas helicoidais de metal duro integral pode-se alcançar tolerâncias de diâmetro dentro da faixa IT8 e, em casos especiais, IT7. A operação de alargamento é freqüentemente utilizada no campo de diâmetros abaixo de 20 mm e, combinada com a operação de pré-furação, produz um acabamento superior (Weinert *et al.*, 1998).

A operação de alargamento é definida, segundo a norma DIN 8589 (*apud* Weinert *et al.*, 1998), como um tipo de furação que utiliza uma ferramenta de alargar para produzir pequenas espessuras de cavacos e criar superfícies internas com alta qualidade dimensional e de forma. O resultado desta operação depende de vários fatores de extrema importância quando da determinação da construção da ferramenta: aplicação manual ou mecânica; tipo, profundidade e qualidade do furo (furo passante ou cego, espessura da parede da peça a ser usinada, furo interrompido, estado do furo pré-trabalhado etc); acabamento da superfície; dimensões e tolerâncias do furo; resistência e usinabilidade do material (Gabor, 1982).

Segundo a mesma DIN 8589, os alargadores são divididos em alargadores multicortantes e de corte único. Os alargadores multicortantes possuem lâminas que estão dispostas num único conjunto e encontram-se simultaneamente em contato com a peça. A usinagem é subdividida em duas operações: corte nas arestas principais de corte e alisamento nas arestas laterais, sendo que estas últimas influenciam mais fortemente no resultado da usinagem. Em geral, os alargadores multicortantes têm número de arestas par e sua distribuição não é uniforme para reduzir vibrações auto-excitadas (Weinert *et al.*, 1998). Se um alargador tem arestas demais, ele não possuirá espaço suficiente para a saída do cavaco. Por outro lado, se ele tem poucas arestas, poderá induzir vibrações, principalmente se for um alargador de canal reto. A vida deste tipo de alargador é determinada pelo aumento da rugosidade acima do limite permissível ou por ter atingido a tolerância de diâmetro mais baixa.

Os alargadores requerem menor tenacidade que as brocas em virtude de a carga imposta sobre a ferramenta no alargamento ser normalmente menor que na furação. Em contrapartida, os alargadores de aço-rápido devem ser de elevada dureza (65 HRC ou superior) para se otimizar o acabamento da superfície e vida da ferramenta. Embora mais caro que o aço-rápido, o metal duro freqüentemente oferece uma vida pelo menos dez vezes mais longa quando se realiza o alargamento de aços com dureza próxima de 260 HV. Para operações de alargamento de aços com dureza superior a 400 HV, os alargadores de metal duro são os mais recomendados (Metals Handbook, 1989).

O acabamento do furo alargado também depende da dureza da peça, das condições das arestas de corte do alargador, do avanço e da velocidade de corte. Dentro das condições ótimas, é possível se obter superfícies com rugosidade (R_a) em torno de 1,00 μm ou menor (Metals Handbook, 1989). Ao usinar o ferro fundido cinzento com alargadores de metal duro utilizando fluido de corte, Ohgo *et al.* (1979) verificaram que ao aumentar a velocidade de corte de 8 m/min para 40 m/min a tolerância do furo praticamente não foi alterada, mas ao diminuir o avanço de 0,25 mm/rot para 0,065 mm/rot obteve-se um melhor acabamento. Segundo Stemmer (1995), em geral obtém-se superfícies melhores com avanços menores e recomenda-se que, para ferros fundidos com diâmetro até 20 mm, podem ser utilizadas velocidades de corte (v_c) entre 6 e 18 m/min, e avanços (f) entre 0,30 e 0,50 mm/rot. Segundo Hurth Infer (1998), recomenda-se $v_c = 19$ m/min, para ferramentas de aço-rápido e $v_c = 27$ m/min para o metal duro durante o alargamento de acabamento de ferro fundido nodular. Bezerra (1998) conseguiu valores de R_a abaixo de 3,00 μm para $v_c = 25$ m/min e $f = 0,1$ mm/rot utilizando alargadores de metal duro para a usinagem de uma liga de alumínio-silício.

O ferro fundido nodular tem sido muito empregado na indústria pelo fato de apresentar menor relação superfície-volume quando comparado aos outros ferros fundidos. É um forte substituto do ferro fundido temperado e do aço fundido para situações onde exigem-se propriedades de alta resistência e boa tenacidade. Ele pode ser deformável a quente e a frio e suporta também dobramentos, vibrações e carregamentos de impacto (Weingaertner *et al.*, 1997).

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O material de trabalho é o ferro fundido nodular GGG 40 (ABNT FE 3817) na forma de barra retangular com dimensões 650 mm x 260 mm x 16 mm com valor médio de dureza de 285 HV. A composição química da corrida é mostrada na Tabela 01. Este tipo de material, além possuir excelente usinabilidade, forma cavacos na classe contínua, possui um limite de resistência à tração e escoamento similares aos aços ABNT 1020 laminados a quente (na condição bruta de fusão) e sua matriz ferrítica proporciona uma elevada tenacidade e alta permeabilidade magnética. A microestrutura é mostrada na Fig. 1.

Tabela 1 - Composição química do ferro fundido nodular GGG 40 (em %)

C	Si	Mn	Cr	Cu	Sn	S	P	Ti	Mo	Fe
3,60	2,56	0,27	0,02	0,17	0,020	0,011	0,048	0,02	0,01	balanço

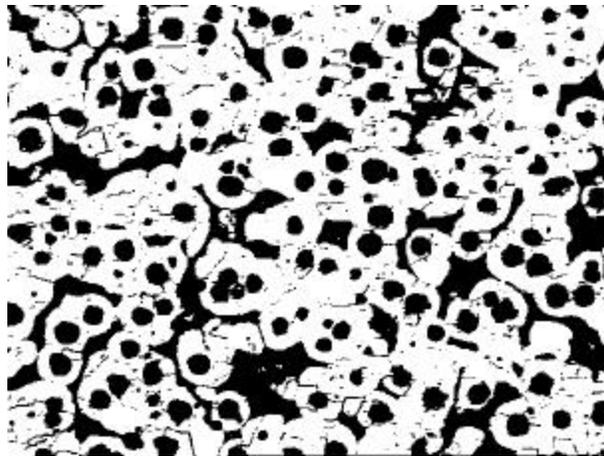


Figura 1 - Microestrutura do ferro fundido nodular GGG 40 utilizado nos ensaios (x 100)

As operações de pré-furação, alargamento de desbaste e de acabamento foram realizadas no Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem da Universidade Federal de Uberlândia, utilizando-se uma fresadora equipada com comando numérico computadorizado, 22 CV de potência e variação contínua de rotação do eixo-árvore (rotação máxima de 4000 rpm). Todas as ferramentas utilizadas foram confeccionadas em metal duro integral classe K-10.

Na operação pré-furação foi utilizada uma broca helicoidal escalonada com três diâmetros (10,9; 12,8 e 17,0 mm) e comprimento de 99 mm. Foi empregada uma velocidade de corte $v_c = 50$ m/min, avanço $f = 0,15$ mm/rot e profundidade de penetração de 26,1mm.

Para a operação de alargamento de desbaste foi utilizado um alargador de canal helicoidal do tipo cônico, sem uso de bucha de guia, com diâmetros menor e maior iguais a 10,4 e 15,0 mm, respectivamente, e comprimento igual de 110 mm. Este alargador apresentou a seguinte geometria: ângulo de hélice de 7° , ângulo de saída de 4° , guia cilíndrico de 0,05 mm, número de lâminas $z = 6$ e conicidade 1:8. Foram utilizados os seguintes parâmetros de corte: $v_c = 20$ m/min, $f = 0,30$ mm/rot e profundidade de penetração de 33,6 mm.

Para a operação de alargamento de acabamento foram utilizados oito alargadores de canal reto do tipo cônico, sem uso de bucha de guia, com diâmetros menor e maior iguais a 11,5 e 16,0 mm, respectivamente, e comprimento igual a 100 mm. Estes alargadores apresentaram a seguinte geometria: ângulo de saída de 4° , guia cilíndrico de 0,05 mm, número de lâminas

$z = 6$ e conicidade 1:8. A profundidade de penetração foi de 29 mm. A Tabela 2 identifica os alargadores de acabamento e os parâmetros de corte utilizados.

Tabela 2 - Identificação dos alargadores de acabamento com parâmetros de corte

Alargador	v_c (m/min)	f (mm/rot)
01	16	0,20
02		0,25
03	26	0,20
04		0,25
05	30	0,20
06		0,25
07	36	0,20
08		0,25

O furo alargado tem comprimento igual a 16 mm, é passante, sem chanfro e possui diâmetros nominais menor e maior iguais a 11,5 e 15 mm, respectivamente.

A broca escalonada e o alargador de desbaste usinaram 400 furos cada um. Para a operação de acabamento, cada ferramenta usinou 50 furos, obedecendo a seqüência de pré-furação. A cada 5 furos foram efetuadas as medições da rugosidade com o auxílio do rugosímetro portátil ajustado para um *cut-off* de 0,8 mm. Confeccionou-se um dispositivo em acrílico que foi acoplado ao rugosímetro, que ao se apoiar no corpo de prova garantia a inclinação de $3^{\circ}35'$ (diferença entre o diâmetro maior e menor do furo), necessária para trajetória da ponta do rugosímetro. Antes de efetuar as medições da rugosidade média aritmética (R_a) fez-se a verificação e o ajuste do rugosímetro.

Foi utilizado para todas as operações um fluido sintético bioestável, com concentração de 4%. Utilizou-se um refratômetro manual para controlar a concentração do fluido (verificada a cada 100 furos), e a distância do bocal à ponta da ferramenta foi mantida em 14 mm.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Fig. 2 apresenta os valores de rugosidade em função do furo usinado por ferramenta, variando-se as velocidades de corte para um avanço de 0,20 mm/rot. Verifica-se que ao se utilizar $v_c = 16$ m/min obteve-se valores de R_a abaixo de $1,25 \mu\text{m}$, em geral menores se comparados às outras velocidades. Isso pode ser explicado pelo fato de que ao aumentar v_c , além de se induzir vibrações inerentes ao sistema peça-ferramenta, provoca-se a aderência do material da peça nas arestas de corte, prejudicando o acabamento da superfície, fenômenos também observados nos trabalhos de Soratgar (*apud* Bezerra, 1998) e Weinert *et al.*, 1998. Os maiores valores de R_a (acima de $1,25 \mu\text{m}$) foram registrados utilizando-se $v_c = 26$ m/min e 36 m/min. Ao se utilizar $v_c = 30$ mm/min obteve-se resultados mais uniformes de R_a entre 1,00 e $1,25 \mu\text{m}$. Observa-se também a tendência de aumento de R_a com o número de furos usinados.

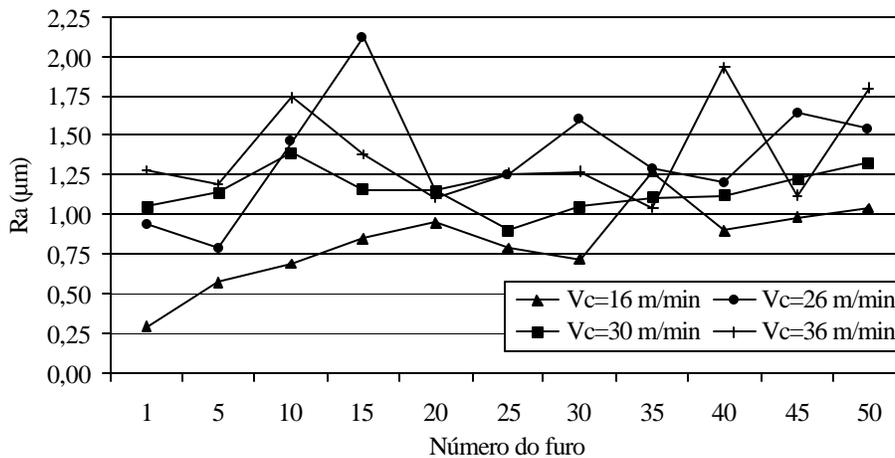


Figura 2 – Rugosidade da superfície para $v_c = 16, 26, 30$ e 36 m/min e $f = 0,20$ mm/rot

A Fig. 3 apresenta os valores de rugosidade em função do furo usinado por ferramenta, variando-se as velocidades de corte para $f = 0,25$ mm/rot. Verifica-se que as curvas referentes às velocidades de corte de 16, 26 e 36 m/min apresentaram comportamentos semelhantes, com valores de R_a entre 1,00 e 1,50 μm . Os maiores valores de R_a foram registrados utilizando-se $v_c = 30$ m/min, chegando a ultrapassar o valor de 2,00 μm . A curva para $v_c = 36$ m/min apresentou menor dispersão (R_a entre 1,00 e 1,50 μm). A curva para $v_c = 26$ m/min, apesar de apresentar maior dispersão que a curva para $v_c = 36$ m/min, também apresenta bons resultados de R_a (próximos a 1,25 μm). Observa-se ainda um comportamento semelhante ao observado na Fig. 2, isto é, uma ligeira tendência de elevação do valor de R_a com o número de furos usinados.

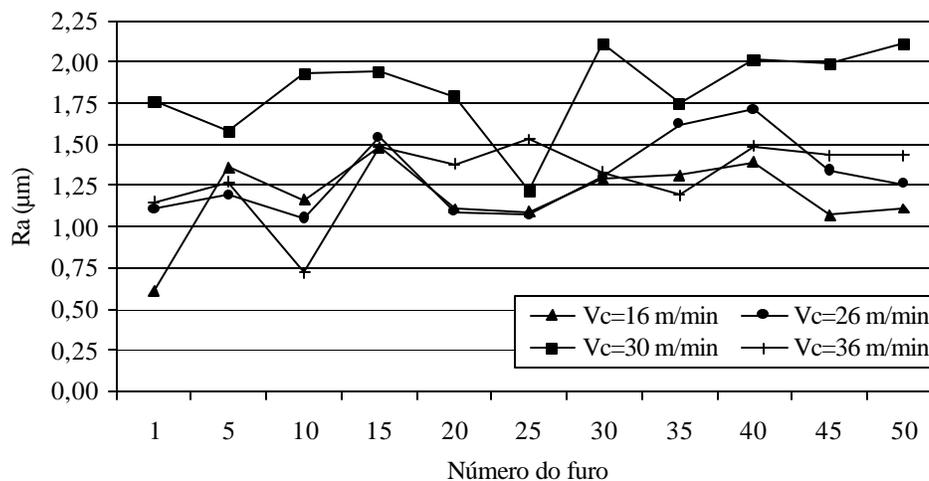


Figura 3 – Rugosidade da superfície para $v_c = 16, 26, 30$ e 36 m/min e $f = 0,25$ mm/rot

A Fig. 4 apresenta os valores de rugosidade em função do número do furo usinado por ferramenta, variando-se o avanço para $v_c = 16$ m/min. Verifica-se que ao aumentar o valor do avanço de 0,20 para 0,25 mm/rot houve um significativo aumento do valor de R_a . Isto já era esperado pelo fato de a distância entre os picos e vale aumentar com o avanço. Para $f = 0,20$ mm/rot os valores de R_a situaram-se abaixo de 1,00 μm , salvo no furo 35 onde R_a esteve próximo de 1,25 μm . Para $f = 0,25$ mm/rot os valores de R_a situaram-se entre 1,00 e 1,50 μm .

Ao contrário da curva de $f = 0,20$ mm/rot, que indicou um aumento de R_a ao longo do tempo de usinagem, a curva de $f = 0,25$ mm/rot não mostrou tal influência de forma visível.

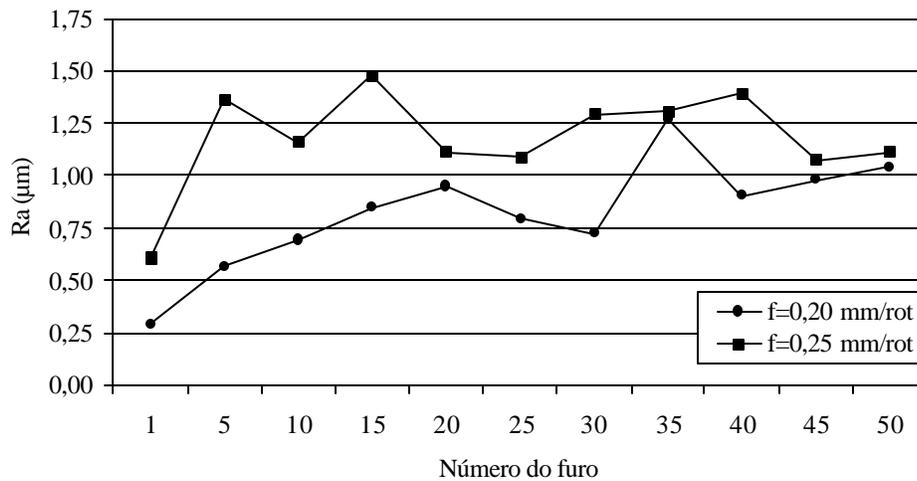


Figura 4 – Rugosidade da superfície para $v_c = 16$ m/min e $f = 0,20$ e $0,25$ mm/rot

As Fig. 5, 6 e 7 representam as medições de rugosidade realizadas a cada 5 furos usinados, utilizando-se $v_c = 16$ m/min e $f = 0,20$ mm/rot e $v_c = 30$ m/min com $f = 0,20$ mm/rot e $f = 0,25$ mm/rot, respectivamente. Para cada furo foram feitas 4 medições de rugosidade em duas regiões diferentes opostas pelo diâmetro (duas para cada região).

A Fig. 5 apresenta os resultados de rugosidade utilizando $v_c = 16$ m/min e $f = 0,20$ mm/rot. As barras hachuradas representam os valores de rugosidade, e as barras sem preenchimento representam os valores de desvio padrão (indicados acima das respectivas barras). Verifica-se que os valores de rugosidade aumentaram com o número de furos e os menores valores de rugosidade foram obtidos nos furos 1 e 5 com $R_a = 0,29$ μm e $R_a = 0,57$ μm , respectivamente. A rugosidade alcançou seu valor máximo no furo 35 com $R_a = 1,27$ μm . O menor valor de desvio padrão foi encontrado no furo 15 (0,02), e o maior valor foi no furo 45 (0,23).

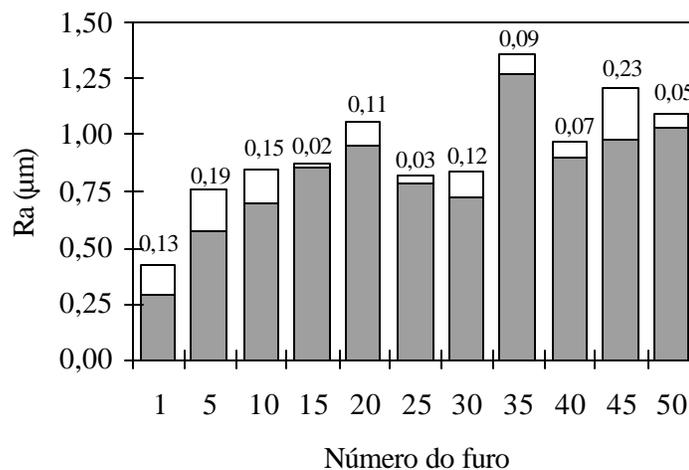


Figura 5 - Valores de rugosidade e desvio padrão para $v_c = 16$ m/min e $f = 0,20$ mm/rot

A Fig. 6 apresenta os resultados de rugosidade obtidos utilizando $v_c = 30$ m/min e $f = 0,20$ mm/rot. Verifica-se que do furo 1 ao furo 10 a rugosidade teve seu valor aumentado,

com R_a em torno de $1,40 \mu\text{m}$ (valor máximo). Em seguida houve uma queda, e a rugosidade atingiu seu valor mínimo no furo 25, com $R_a = 0,91 \mu\text{m}$. Do furo 30 ao 50 houve uma pequena tendência de elevação da rugosidade, mas com valor praticamente constante em relação ao furo 1. Os menores valores de desvio padrão foram encontrados nos furos 30 e 40 (0,02).

Comparando a Fig. 6 com a Fig. 5, nota-se claramente a tendência de elevação da rugosidade com a velocidade de corte.

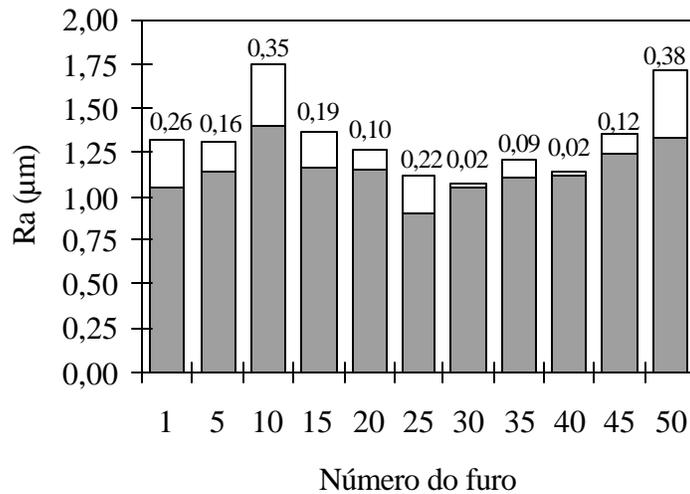


Figura 6 - Valores de rugosidade e desvio padrão para $v_c = 30 \text{ m/min}$ e $f = 0,20 \text{ mm/rot}$

A Fig. 7 apresenta os resultados de rugosidade obtidos na operação de alargamento de acabamento utilizando $v_c = 30 \text{ m/min}$ e $f = 0,25 \text{ mm/rot}$. No furo 25 registrou-se o menor valor de rugosidade ($R_a = 1,22 \mu\text{m}$) e, em seguida, no furo 30 o valor de R_a aumentou para $2,11 \mu\text{m}$ (valor máximo). Em geral, observa-se que a rugosidade permanece praticamente constante com R_a em torno de $2,00 \mu\text{m}$ ao longo da usinagem dos 50 furos. Os menores valores de desvio padrão foram encontrados nos furos 10 (0,04) e 35 (0,08).

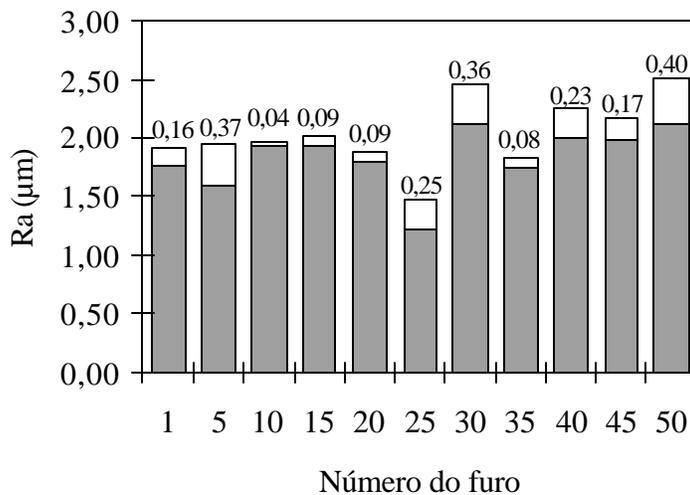


Figura 7 - Valores de rugosidade e desvio padrão para $v_c = 30 \text{ m/min}$ e $f = 0,25 \text{ mm/rot}$

Das Fig. 5 a 7 nota-se que no furo 25 houve uma queda no valor de R_a . Acredita-se que pode ter ocorrido o desprendimento da camada de material das lâminas após a usinagem do furo 20, e a partir do furo 25 o alisamento da parede do furo pelas arestas de corte tenha sido

melhorado. O fato de R_a aumentar em seguida no furo 30 pode ser explicado pela nova aderência de material nas arestas de corte.

De modo geral, para todos outros parâmetros de corte citados na Tabela 2, observa-se que o comportamento da rugosidade em função do número de furos usinados apresenta-se semelhante aos encontrados nas Fig. 5 a 7, com valor de R_a aumentando com o número de furos usinados.

4. CONCLUSÕES

As seguintes conclusões podem ser tiradas do trabalho:

- A menor velocidade de corte ($v_c = 16$ m/min) produziu os melhores resultados de rugosidade em relação às velocidades de 26, 30 e 36 m/min durante o alargamento cônico do ferro fundido nodular GGG 40;
- Conforme esperado, menores valores de avanço produziram melhores resultados de rugosidade, sendo que esta aumentou com o número de furos produzidos;
- Valores de velocidades de corte e avanço superiores a $v_c = 26$ m/min e $f = 0,20$ mm/rot produziram resultados mais satisfatórios em termos uniformidade de R_a , enquanto que para $v_c = 30$ m/min e $f = 0,25$ mm/rot, os resultados de R_a foram os maiores dentre todas as combinações de velocidades de corte e avanços testadas;

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Eng. Fábio Pires (PROEMA Minas) pelo apoio técnico e doação das ferramentas de corte, ao Sr. Antônio Alexandrino Dias (TEKSID do Brasil Ltda) pelo fornecimento do material de trabalho e ao Sr. José Rodrigues Jr. (JR Júnior) pela doação do fluido de corte.

REFERÊNCIAS

- Bezerra, A. A., 1998, Influência dos principais parâmetros no processo de alargamento de uma liga de alumínio-silício, Dissertação de Mestrado, UFU, Uberlândia, 138 pags.
- Gabor, H., 1982, Como atuam os alargadores, Máquinas e Metais, Aranda Editora, Ano XVIII, n. 205, Setembro 1982, pp. 16-21.
- Hurth Infer Indústria de Máquinas e Ferramentas Ltda, 1998, Processo de furação e alargamento, 1ª Edição, Setembro 1998, Sorocaba, pp. 20-33.
- Metals Handbook, 1989, Reaming, vol. 16 – Machining, 9ª edition, American Society for Metals, pp. 239-248.
- Ohgo, K., Satoh, A., Mizuno, T. and Itoh, T., 1979, Relation between cutting conditions and precision in the reaming of gray iron castings, Wear, vol. 52, n. 1, pp. 79-88.
- Stemmer, C.E., 1995, Ferramentas de Corte II: brocas, alargadores, ferramentas de roscar, fresas, brochas, rebolos, abrasivos, 2ª Edição, Editora da UFSC, Florianópolis, pp. 33-43.
- Tönshoff, H. K., Spintig, W., König, W. and Neises, A., 1994, Machining of holes developments in drilling technology, Annals of the CIRP, vol. 43/2, pp. 551-561.
- Weinert, K., Adams, F., Biermann, D. and Thamke, D., 1998, Alargadores de corte único corte mais eficiente, além de vantagens econômicas, Máquinas e Metais, Aranda Editora, Ano XXXIV, n. 384, Janeiro 1998, pp. 38-57.
- Weingaertner, W.L., Silva, H. R., Tikal, F. and Vollmer, C., 1997, Dependendo do cabeçote, pode-se rosquear ferro GGG 40 a mais de 100 m/min, Máquinas e Metais, Aranda Editora, Ano XXXII, n. 383, pp. 132-138.

TAPER REAMING OF GGG 40 NODULAR CAST IRON

Abstract: *This work presents a study on the influence of the cutting conditions (cutting speed and feed rate) on the surface finish of taper holes produced by reaming of GGG 40 nodular cast iron using solid tungsten carbide reamers. Before finish reaming, step drilling and rough reaming were carried out. For the finish operation, the following parameters were tested: cutting speeds of 16, 26, 30 e 36 m/min and feed rate of 0,20 and 0,25 mm/rev. The results show that lower cutting speeds and feed rate provide the best surface roughness. In addition, the results also show that surface roughness increases with the number of holes.*

Keywords: *Reaming, Nodular cast iron, Solid tungsten carbide*