

INFLUÊNCIA DA RELAÇÃO COMPRIMENTO/DIÂMETRO (L/D) NA RUGOSIDADE DA PAREDE DE FUROS USINADOS

Eder Silva Costa, eder@mecanica.ufu.br¹
Rosemar Batista Da Silva, rsilva@mecanica.ufu.br¹
Álison Rocha Machado, alissonm@mecanica.ufu.br¹

¹Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Mecânica – Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem (LEPU), Av. João Naves de Ávila, 2.121, Uberlândia-MG, 38.408-100, Brasil.

Resumo: A rugosidade superficial é o conjunto de irregularidades finas ou erros micro-geométricos resultantes da ação inerente do processo de corte (marcas de avanço, aresta postiça de corte, desgaste da ferramenta, etc). A rugosidade pode ser medida por vários parâmetros, entre eles destacam-se R_a e R_z , que por serem parâmetros médios são mais estáveis que os demais. Este trabalho faz uma comparação entre a rugosidade da parede de furos usinados com as relações comprimento/diâmetro (L/D) de 1,5 e 4,0. Utilizou-se brocas helicoidais maciças de aço-rápido/cobalto revestidas com TiAlN e diâmetros de 10 mm para usinar furos cegos, sem pré-furo, em uma placa de ferro fundido vermicular. As variáveis de entrada foram o sistema lubri-refrigerante (usinagem a seco, aplicação de fluido de corte em Mínima Quantidade-MQF e aplicação de fluido de corte na forma convencional- jorro) e os parâmetros de corte velocidade e avanço por rotação. Como resposta para os ensaios adotou-se as rugosidades médias R_a e R_z . A análise dos resultados, obtidos através de um Planejamento Fatorial (DOE) com quatro fatores em dois níveis, revelou em geral, que a variável sistema lubri-refrigerante é a mais influente nas rugosidades. O uso de fluidos de corte provoca uma redução, em geral, nas rugosidades. A usinagem com aplicação de fluido em Mínima Quantidade (MQF) reduz o R_a e R_z em 0,38 μm (13%) e 2,87 μm (18%), já o corte com jorro diminui o R_a e R_z em 0,80 μm (29%) e 4,47 μm (30%), respectivamente, comparado com a usinagem a seco. Os resultados também mostraram que na usinagem de furos com L/D=4,0, ao invés de L/D=1,5, os valores de R_a e R_z subiram, em média, 0,17 μm (6%) e 2,12 μm (14%), respectivamente. Os parâmetros de corte velocidade e avanço foram, em geral, relativamente poucos influentes nas rugosidades, sendo que a maior influência verificada foi quando da alteração do avanço de 0,10 para 0,15 mm/rev e ocasionou um acréscimo médio em R_z de 2,17 μm (15%).

Palavras-chave: relação comprimento/diâmetro (L/D), rugosidades R_a e R_z , sistema lubri-refrigerante, furação

1. INTRODUÇÃO

Os erros geométricos e dimensionais, a presença de rebarbas e a textura superficial definem usualmente a qualidade do processo de furação. A precisão resultante dos furos depende do tipo de processo de furação, da peça, da ferramenta, da máquina, dos parâmetros do processo e rigidez do sistema máquina-ferramenta-peça (Costa, 2004 e Costa et al, 2005). Além disso, o grau de afiação e geometria da ponta da broca também influenciam fortemente a precisão do furo (Tool and Manufacturing Engineers Handbook, 1983).

A integridade superficial, que é o termo utilizado para denotar as condições das superfícies usinadas, descreve a qualidade dessas superfícies. Ela afeta as condições de funcionamento e a confiabilidade de componentes mecânicos, principalmente aqueles sob condições de carregamento mecânico e térmico (Zeilmann, 2003 e Machado et al, 2009). O acabamento superficial, que é uma das divisões da integridade superficial, sofre influência de vários parâmetros de usinagem, incluindo: a geometria da ferramenta de corte, geometria da peça, rigidez da máquina-ferramenta, material da peça, condições de corte e material da ferramenta. O acabamento superficial pode ser determinado pela medição de alguns parâmetros inerentes e as rugosidades médias " R_a " e " R_z " são normalmente usadas. O R_a é obtido medindo-se os desvios dos picos e vales em relação a uma linha de centro, dentro do comprimento de medição total e o R_z é a média entre as rugosidades máximas (distância entre o pico mais alto e o vale mais profundo) medidas dentro de cada comprimento de rugosidade da amostra (Machado et al, 2009).

Embora com significativa importância dentro da produção no setor metal-mecânico (redução do desgaste das ferramentas, melhoria no acabamento superficial, expulsão do cavaco da região de corte, controle dimensional, etc.) os fluidos de corte vem encontrando, principalmente nos últimos anos, sérias restrições com relação ao seu uso nos processos de usinagem. Os fatores importantes que justificam este procedimento incluem os altos custos operacionais, as questões ecológicas, as exigências legais relacionadas à preservação do meio ambiente e a saúde do ser humano (Klocke et al, 2006, Weinert et al, 2004, Tasdelen e Johanson, 2006 e Bennett, 1995). Neste sentido, a usinagem a seco

e com aplicação de fluidos em vazões reduzidas vem ganhando cada vez mais espaço, principalmente em função do desenvolvimento dos materiais, revestimentos e geometrias das ferramentas de corte (Kubel, 1998, Teeter, 1999 e Schacht e Stockhammer, 2005).

Apesar de todo apelo ecológico para a usinagem a seco, a ausência total de fluido de corte ainda esbarra em muitas operações, por exemplo, no corte de materiais dúteis como o alumínio, na furação do ferro fundido cinzento devido a falta do auxílio para a expulsão dos cavacos e na usinagem contínua de aços, superligas de Ni e Ti, entre outros (Braga et al, 2000 e Costa, 2004).

Na furação a seco ou mesmo com aplicação de fluido de corte em mínimas quantidades, onde a refrigeração está ausente ou é colocada em segundo plano, a carga térmica que a ferramenta é submetida é um dos principais entraves do processo (Zeilmann e Weingaertner, 2006). Um fato complicador para o processo de furação é a profundidade do furo, e quando ela excede 3 vezes o diâmetro da broca o processo pode ser considerado quase a seco, mesmo quando grandes quantidades de fluido de corte é lançado sobre a ferramenta, devido principalmente ao contra-fluxo dos cavacos. E desta forma, fornecer grandes volumes de fluido pode ser considerado um desperdício, não acrescentando necessariamente vantagens em termos de lubrificação e refrigeração ao processo de corte (Heinemann, 2004 e Kubota e Tabei, 1999).

A restrição ao fornecimento de fluido de corte, aliada a boa capacidade de lubrificação e favorável estabilidade térmica são a principais vantagens do sistema MQF comparado com a aplicação convencional de fluido de corte para o processo de furação (Kubota e Tabei, 1999). As últimas pesquisas relacionadas ao uso de MQF estão sendo direcionadas para se determinar a quantidade ótima e o tipo de óleo mais apropriado para se ter uma maior vida da ferramenta entre outros benefícios (Heinemann et al, 2006).

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1. Testes Experimentais

Este trabalho apresenta um estudo sobre a rugosidade média da parede de furos cegos usinados em cheio em placas de ferro fundido vermicular utilizando-se brocas helicoidais. Os ensaios foram realizados sob diferentes sistemas lubri-refrigerantes (usinagem a seco, aplicação de fluido de corte em mínima quantidade-MQF e aplicação convencional de fluido de corte-jorro), velocidades de corte (20 e 30 m/min), avanços por rotação (0,10 e 0,15 mm/rev) e relação comprimento/diâmetro do furo ($L/D=1,5$ e $L/D=4,0$). A planilha de testes e a análise dos resultados foram conduzidos através de um Planejamento de Experimentos (DOE).

2.2. Material Usinado

O material usinado foi uma placa de ferro fundido vermicular CGI (classe 450 da norma ASTM) que foi cortada e previamente fresada nas dimensões de 240x160x45 mm. A placa foi presa à mesa da máquina CNC por meio de uma morsa hidráulica. Foi mantida uma distância mínima de 5 mm entre as paredes dos furos. As principais características do material usinado podem ser consultadas na Tab. (1).

Tabela 1. Características do ferro fundido vermicular CGI (classe 450 da norma ASTM).

Matriz	Grafita			Dureza Brinell (HB 5/750)	Microdureza na Perlita (HV 01)	Tração LR (MPa)
	Forma	Nodular	Partículas p/mm ²			
Perlita com ~2% de Ferrita	III-VI	7 %	218	237	321 a 366	374

2.2. Ferramentas de Corte

Utilizou-se para os testes de furação uma broca de aço-rápido/cobalto tipo M42 HSS (8% Co), maciça de dois cortes e revestidas com TiAlN (10HSS-Co.FUTURA[®]). Estas ferramentas apresentam diâmetro de 10 mm, e ângulos de hélice e ponta de 30° e 130°, respectivamente.

2.3. Máquina-Ferramenta

Os experimentos de furação foram realizados em um Centro de Usinagem Vertical CNC com a potência do motor principal igual a 9 kW e rotação máxima no eixo-árvore de 10.000 rpm. Antes da realização dos testes definitivos foram realizadas várias baterias de pré-testes com a finalidade de se ajustar os valores dos parâmetros de corte.

2.3. Fluidos de Corte

Neste estudo foram avaliados 3 sistemas lubri-refrigerantes, a usinagem a seco, na qual somente o ar ambiente estava presente durante os testes de furação, a usinagem aplicando fluido de corte em mínimas quantidades (MQF) e o corte com aplicação de fluido de forma convencional (jorro sobre-cabeça).

Os fluidos de corte foram aplicados externamente à ferramenta-peça por meio de bicos. Para aplicação de fluido em mínima quantidade (MQF) utilizou-se um óleo integral (especificação Vascomill MMS SE 1[®]) na vazão de 50 ml/h. Este é um fluido à base de ésteres naturais, vegetal, com segurança reforçada em função do alto ponto de fulgor e da baixa formação de névoa. O aparelho pulverizador do fluido trabalhava com um fluxo contínuo de ar comprimido, ajustado em torno de 4,3 bar, e “spray” intermitente de fluido na frequência de 1 pulso por segundo. Neste equipamento o fluido de corte é conduzido através de uma mangueira de menor diâmetro que chega ao bico, dentro de uma outra maior que conduz o ar comprimido. A mistura ar comprimido-fluido era injetada sobre a ferramenta-peça por meio de 2 bicos simetricamente opostos, como mostrado na Fig. (1).



Figura 1. Aplicação de mínima quantidade de fluido de corte (MQF) na vazão de 50 ml/h.

O fluido de corte aplicado na forma de jorro foi uma micro-emulsão de óleo de base vegetal (especificação Vasco 1000[®]) usado na concentração de 9%. Este fluido foi aplicado pelo próprio sistema de bombeamento do centro de usinagem CNC que distribuía a vazão total do fluido de corte de 1200 l/h através de 3 bicos, conforme mostra a Fig. (2).



Figura 2. Aplicação de fluido de corte por jorro na vazão de 1200 l/h.

2.2. Planilha dos Testes

Foram realizados um total de 24 testes. As variáveis de entrada foram o sistema lubri-refrigerante (seco, MQF e jorro), a velocidade de corte (20 e 30 m/min), o avanço por rotação (0,10 e 0,15 mm/rev) e a relação comprimento/diâmetro do furo ($L/D=1,5$ e $L/D=4,0$). Para cada um destes testes utilizou-se uma broca nova e foram usinados 3 furos em sequência. A Tab. (2) mostra os testes com as suas respectivas condições. Percebe-se nesta tabela que cada linha é sempre referente a três testes, realizados na condição de seco, MQF e jorro, respectivamente.

Tabela 2. Planilha dos testes de furação.

Teste Nº	Sistema Lubri-Refrig.	V_c (m/min)	f (mm/rev)	L/D	Estratégia
01 / 09 / 17	SECO / MQF/ JORRO	20	0,10	1,5	1 Teste = 1 Broca nova (3 furos por teste)
02 / 10 / 18	SECO / MQF/ JORRO	20	0,10	4,0	
03 / 11 / 19	SECO / MQF/ JORRO	20	0,15	1,5	
04 / 12 / 20	SECO / MQF/ JORRO	20	0,15	4,0	
05 / 13 / 21	SECO / MQF/ JORRO	30	0,10	1,5	
06 / 14 / 22	SECO / MQF/ JORRO	30	0,10	4,0	
07 / 15 / 23	SECO / MQF/ JORRO	30	0,15	1,5	
08 / 16 / 24	SECO / MQF/ JORRO	30	0,15	4,0	

2.3. Avaliação das Rugosidades R_a e R_z

A rugosidade das paredes dos furos foi avaliada através dos parâmetros médios R_a e R_z . Para tal foi utilizado um rugosímetro portátil Surtronic 3+ modelo 112/1590 fabricado pela Taylor Hobson e utilizado um *cut-off* de 0,8 mm. Como este instrumento apresenta o diâmetro do apalpador menor que o diâmetro dos furos é possível fazer a medição das rugosidades da parede dos furos pela simples introdução do apalpador no furo, conforme observado na Fig. (3).

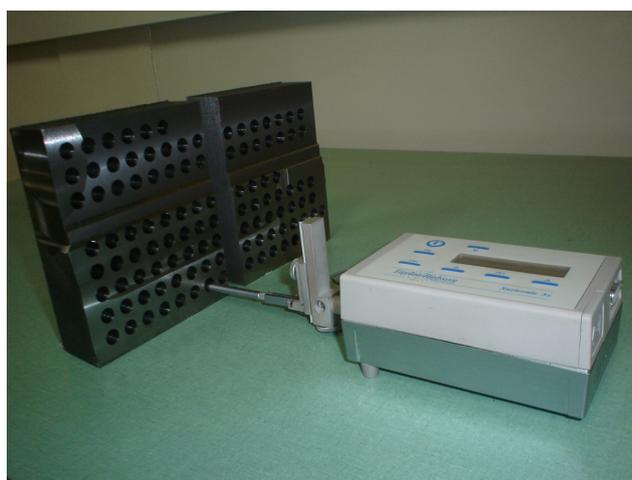


Figura 3. Rugosímetro portátil com o apalpador introduzido em um furo pronto para realizar as medição das rugosidades R_a e R_z .

A medição da rugosidade foi realizada em duas regiões da parede dos furos com profundidade de 40 mm ($L/D=4,0$). A agulha do apalpador foi posicionada a 7 mm e a 30 mm da borda de entrada do furos. Para os furos com profundidade de 15 mm ($L/D=1,5$) a medição da rugosidade foi realizada apenas na região central do furo. A rugosidade foi medida na parede dos 3 furos representativos do teste, sendo a média aritmética simples dos valores encontrados para as medições, o valor da rugosidade atribuído ao teste.

2.5. Análise dos Resultados

A planilha de testes foi elaborada de forma tal que os resultados pudessem ser analisados via Planejamento de Experimentos (DOE) com 4 fatores em dois níveis. Para a variável “Sistema Lub-Refrigerante”, que apresenta três níveis (Seco, MQF e Jorro), a análise foi feita combinando-se primeiro seco-MQF e depois seco-jorro. Utilizou-se os valores médios de força e torque atribuídos a cada teste para rodar o software e calcular os efeitos das variáveis e suas respectivas interações.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos testes de furação para as rugosidades R_a e R_z podem ser vistos nas Tab. (3) e (4), respectivamente. As Fig. (4) e (5) mostram graficamente os resultados das rugosidades R_a e R_z , respectivamente, em

função da profundidade do furo e das demais condições de corte, e as Tab. (5) e (6) faz uma análise estatística desses resultados via Planejamento de Experimentos com 4 fatores e 2 níveis.

Tabela 3. Resultados de R_a para os testes de furação.

TESTE Nº	1º Teste				2º Teste				3º Teste			
	Furo 1	Furo 2	Furo 3	Média	Furo 1	Furo 2	Furo 3	Média	Furo 1	Furo 2	Furo 3	Média
01 / 09 / 17	3,18	2,94	3,57	3,23	3,15	2,95	3,29	3,13	1,83	1,29	1,41	1,51
02 / 10 / 18	3,13	3,38	2,74	3,08	2,96	2,74	2,60	2,77	2,06	2,00	2,60	2,22
03 / 11 / 19	2,30	3,07	3,06	2,81	2,40	2,90	2,45	2,58	2,30	2,56	2,29	2,38
04 / 12 / 20	3,01	3,85	3,38	3,41	2,39	3,09	3,70	3,06	2,90	2,84	2,60	2,78
05 / 13 / 21	3,21	3,40	3,50	3,37	3,17	2,97	2,63	2,92	1,89	2,67	2,66	2,41
06 / 14 / 22	3,01	3,00	3,59	3,20	2,42	2,56	2,38	2,45	1,81	2,52	2,38	2,24
07 / 15 / 23	2,78	3,20	2,97	2,98	2,81	2,86	2,47	2,71	3,10	2,74	2,20	2,68
08 / 16 / 24	3,44	3,23	3,71	3,46	2,63	3,10	2,99	2,91	2,30	3,69	2,85	2,95
25 / 29 / 33	3,60	4,30	8,80	5,57	2,70	3,20	3,60	3,17	3,00	2,50	3,20	2,90
26 / 30 / 34	3,90	3,90	3,60	3,80	3,70	3,20	3,00	3,30	2,00	2,30	2,20	2,17
27 / 31 / 35	2,70	3,30	3,40	3,13	2,70	3,90	3,10	3,23	2,40	2,90	2,60	2,63
28 / 32 / 36	3,40	3,10	4,10	3,53	3,40	4,60	3,70	3,90	2,10	2,70	2,20	2,33

Tabela 4. Resultados de R_z para os testes de furação.

TESTE Nº	1º Teste				2º Teste				3º Teste			
	Furo 1	Furo 2	Furo 3	Média	Furo 1	Furo 2	Furo 3	Média	Furo 1	Furo 2	Furo 3	Média
01 / 09 / 17	16,85	16,30	14,95	16,03	15,70	14,25	18,05	16,00	10,50	9,10	8,45	9,35
02 / 10 / 18	16,30	18,00	17,95	17,42	15,50	15,70	15,45	15,55	10,30	12,45	12,20	11,65
03 / 11 / 19	14,60	17,80	17,65	16,68	13,00	11,35	14,10	12,82	11,60	12,95	11,60	12,05
04 / 12 / 20	16,50	19,40	21,40	19,10	12,95	17,85	19,55	16,78	16,55	16,55	14,65	15,92
05 / 13 / 21	14,10	15,10	17,60	15,60	12,30	10,65	14,55	12,50	9,10	11,40	10,50	10,33
06 / 14 / 22	16,80	16,95	16,65	16,80	14,65	13,95	7,77	12,12	9,25	15,75	14,90	13,30
07 / 15 / 23	15,20	16,60	17,20	16,33	11,65	15,50	10,25	12,47	12,30	14,10	12,65	13,02
08 / 16 / 24	19,70	18,00	19,60	19,10	14,05	16,95	16,60	15,87	13,20	17,95	15,85	15,67
25 / 29 / 33	22,00	24,00	32,50	26,17	14,50	18,50	21,00	18,00	21,00	17,50	17,50	18,67
26 / 30 / 34	23,50	23,50	19,50	22,17	22,50	18,50	21,50	20,83	12,50	15,00	15,00	14,17
27 / 31 / 35	17,50	20,00	21,00	19,50	17,50	22,00	18,00	19,17	16,50	18,50	15,50	16,83
28 / 32 / 36	23,00	21,00	24,50	22,83	19,00	23,00	22,50	21,50	13,50	16,50	14,50	14,83

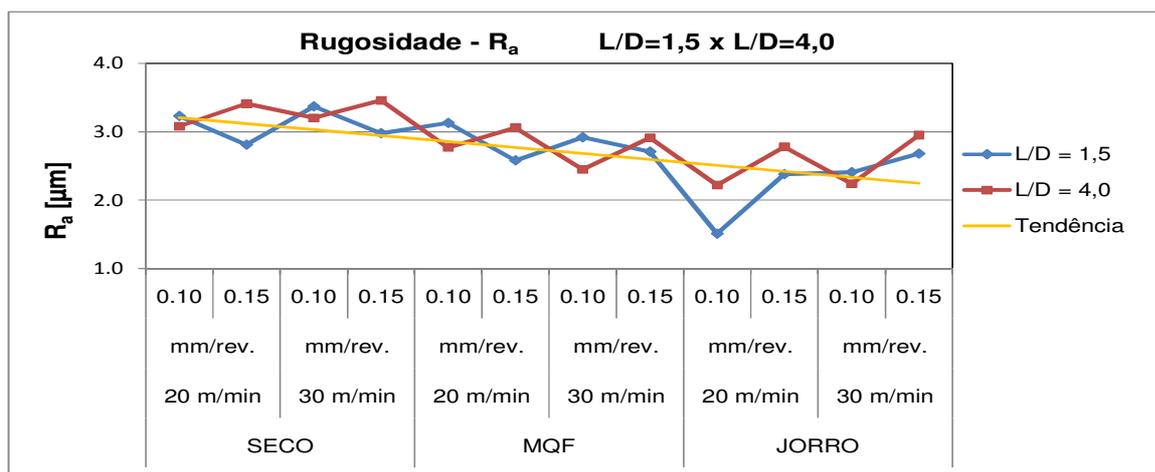


Figura 4. Comparação da rugosidade R_a para os furos com $L/D=1,5$ e $L/D=4,0$

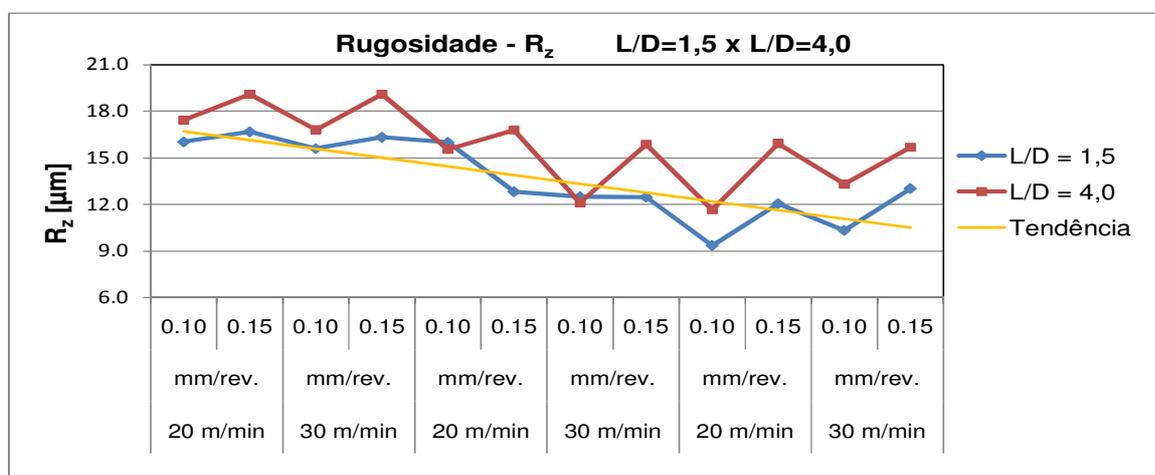


Figura 5. Comparação da rugosidade R_z para os furos com $L/D=1,5$ e $L/D=4,0$.

Tabela 5. Efeitos da mudança de nível das variáveis nos valores de R_a e R_z . Análise “Seco x MQF”.

	Efeito [μm]	
	R_a	R_z
Média Geral	3,00 (100%)	15,70 (100%)
Sistema Lubri-refrigerante: Seco \rightarrow MQF	-0,38 (\downarrow 13%)	-2,87 (\downarrow 18%)
v_c: 20 \rightarrow 30 m/min	-0,01 (0%)	-1,20 (\downarrow 8%)
f: 0,10 \rightarrow 0,15 mm/rev.	-0,03 (\downarrow 1%)	0,89 (\uparrow 6%)
L/D: 1,5 \rightarrow 4,0	0,08 (\uparrow 3%)	1,79 (\uparrow 11%)

Tabela 6. Efeitos da mudança de nível das variáveis nos valores de R_a e R_z . Análise “Seco x Jorro”.

	Efeito [μm]	
	R_a [μm]	R_z [μm]
Média Geral	2,79 (100%)	14,90 (100%)
Sistema Lubri-refrigerante: Seco \rightarrow Jorro	-0,80 (\downarrow 29%)	-4,47 (\downarrow 30%)
v_c: 20 \rightarrow 30 m/min	0,23 (\uparrow 8%)	0,24 (\uparrow 2%)
f: 0,10 \rightarrow 0,15 mm/rev.	0,27 (\uparrow 10%)	2,17 (\uparrow 15%)
L/D: 1,5 \rightarrow 4,0	0,25 (\uparrow 9%)	2,45 (\uparrow 16%)

As Tab. (5) e (6) mostram que a variável mais influente nas rugosidades R_a e R_z foi o sistema lubri-refrigerante. A usinagem com MQF reduz o R_a e R_z em 0,38 e 2,87 μm , cerca de 13% e 18%, respectivamente, e o corte com jorro diminui o R_a e R_z em 0,80 e 4,47 μm , cerca de 29% e 30%, respectivamente, comparado com a usinagem a seco. As retas na cor laranja presente nos gráficos das Fig. (4) e (5) mostram a tendência clara das rugosidades diminuírem na seguinte ordem dos sistemas lubri-refrigerantes: Seco \rightarrow MQF \rightarrow Jorro. O fluido de corte diminui o desgaste da ferramenta e o atrito entre a ferramenta e a peça ou cavaco. Tudo isto, melhora o acabamento superficial (Machado et al, 2009).

Os parâmetros de corte velocidade e avanço foram poucos influentes nas rugosidades. A maior influência foi observada quando da alteração do avanço de 0,10 para 0,15 mm/rev e ocasionou um acréscimo em R_z de 2,17 μm em média (aproximadamente 15% em relação ao valor médio dos testes), Tab. (6). As condições de corte têm grande efeito na rugosidade superficial, principalmente o avanço. A altura dos picos e a profundidade dos vales das marcas de avanço tendem a aumentar com o avanço (Machado et al, 2009).

O aumento da profundidade dos furos de 15 mm para 40 mm (de $L/D=1,5$ para $L/D=4,0$) aumentou, em geral, as rugosidades, principalmente o parâmetro R_z , conforme observado na Fig. (5). O aumento médio no valor de R_a foi de apenas 0,17 μm (6%) enquanto em R_z foi de 2,12 μm (14%), Tab. (5) e (6). O fato da rugosidade do furo com $L/D=4,0$ ser maior que o furo com $L/D=1,5$ prova que a medida que a profundidade do furo aumenta, mais difícil fica o acesso do fluido para a região de corte, uma vez que a aplicação dos fluidos para estes testes foram feitas externamente por meio de bicos. Outro fato a ser considerado também é que quanto mais profundo o furo mais difícil é a remoção do cavaco do seu interior, isto pode ser traduzido em um aumento das forças de usinagem, que pode ocasionar uma maior vibração do sistema máquina-ferramenta-peça e consequentemente piorar a qualidade da superfície usinada.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos dos testes de furação, nas condições impostas pela metodologia do presente trabalho, nos permitem as seguintes conclusões:

- O sistema lubri-refrigerante mostrou ser a variável mais influente nas rugosidades R_a e R_z ;
- A usinagem com MQF reduz o R_a e R_z em 0,38 e 2,87 μm , cerca de 13% e 18%, respectivamente, e o corte com jorro diminui o R_a e R_z em 0,80 e 4,47 μm , cerca de 29% e 30%, respectivamente, comparado com a usinagem a seco;
- Os parâmetros de corte velocidade e avanço foram relativamente poucos influentes nas rugosidades;
- O aumento da relação $L/D=1,5$ para $L/D=4,0$ provocou um acréscimo médio no valor de R_a de 0,17 μm (6%) e em R_z de 2,12 μm (14%).

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMIG, à CAPES, ao IFM e ao CNPq, pelo suporte financeiro, e às empresas Blaser Swisslube do Brasil Ltda. e OSG-Ferramentas de Precisão Ltda pelo fornecimento dos fluidos de corte e ferramentas de corte, respectivamente.

6. REFERÊNCIAS

- Costa, E.S., 2004, "Furação de Aços Microligados com Aplicação de Mínima Quantidade de Fluido de Corte - (MQF)", Tese de doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, 199 p.
- Costa, E.S., Machado, Á.R., Rosa, S.N. ; Souza Junior, E. A., 2005, "Qualidade dos Furos Usinados em Função de Diferentes Sistemas Lubri-Refrigerantes na Usinagem do Aço DIN 38MnS6", III Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação - COBEF, Joinville-PR, Brasil.
- Tool and Manufacturing Engineers Handbook, 1983, "Machining", 4. ed., v.1, Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, Michigan, pp.10.1-10.76.
- Zeilmann, R.P., 2003, "Furação de Liga de Titânio Ti6Al4V com Mínimas Quantidades de Fluido de Corte", 170 f. Tese (Doutorado Eng. Mecânica) - UFSC, Florianópolis-SC, Brasil.
- Machado, A.R., Coelho, R.T, Abrão, A.M e Da Silva M.B., 2009, "Teoria da Usinagem dos Metais", Ed. Edgard Blücher, São Paulo, Brasil, 371 p.
- Klocke, F., Gerschwiler, K., Fritsch, R. and D. Lung, D., 2006, "PVD - Coated Tools and Native Ester-an Advanced System for Environmentally Friendly Machining", Surface Coatings Technol. 201, pp. 4389-4394.
- Weinert, K., Inasaki, I., Sutherland, J. and Wakabayashi, W.T, 2004, "Dry machining. Minimum Quantity Lubrication", Annals CIRP 53, pp. 511-537.
- Tasdelen, B. and Johanson, S., 2006, "Minimum Quantity Lubrication (MQL) - a Step to Understanding of the Process", Annals CIRP, pp. 329-335.
- Bennett, E.O, 1995, "Systemic Diseases in Machinists", Biotech Publishing: Angleton, Texas, USA, 190 p.
- Kubel, E., 1998, "Coatings Crank up Tool Performance", Manufacturing Engineering, pp. 40-46.
- Teeter, F.J., 1999, "Coating Takes Place of Coolant", American Machinist, pp. 50-52.

- Schacht, M., Spieß, G. and Stockhammer, R., 2005, "Metal-cutting Manufacturing", 4th Issue of the Compendium, Willy Vogel AG, Berlin.
- Braga, D. U., Diniz, A. E., Coppini, N. L. e Miranda, G. W. A., 2000, "Furação de Liga de Alumínio-Silício Utilizando Lubrificação por Névoa", Máquinas e Metais, Editora Aranda, junho, pp 104-115.
- Zeilmann, R.P., and Weingaertner, W.L., 2006, Analysis of temperature during drilling of Ti6Al4V with minimal quantity of lubricant, Journal of Materials Processing Technology 179, 2006, pp. 124-127
- Heinemann, R., 2004, "Improving the Performance of Small Diameter Twist Drills in Deep-Hole Drilling", PhD-Thesis, UMIST.
- Kubota, H., and Tabei, H., 1999, "Drilling of A Small and Deep Hole Using a Twist Drill", Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Part C 62 (601), pp. 3691-3697.
- Heinemann, R., Hinduja, S., Barrow, G. and Petuelli, G., 2006, "Effect of MQL on the Tool Life of Small Twist Drills in Deep-hole Drilling", International Journal of Machine Tools & Manufacture 46, pp.1-6.

7. DIREITOS AUTORAIS

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

INFLUENCE OF THE LENGTH TO DIAMETER RATIO (L/D) IN THE ROUGHNESS OF THE WALL OF MACHINED HOLES

Eder Silva Costa, eder@div.cefetmg.br¹

Rosemar Batista Da Silva, rosemarbsilva@yahoo.com.br¹

Álison Rocha Machado, alisonm@mecanica.ufu.br¹

Abstract. Surface roughness is the set of fine irregularities or micro-geometry errors resulting from the inherent action of the cutting process (marks of feed rate, built-up edge, tool wear, etc.). The roughness can be measured by several parameters, among them stand out from R_a and R_z , which are average parameters and are more stable than the others. This paper compares the roughness of the wall holes drilled with the length to diameter ratio (L/D) of 1.5 and 4.0. It was used new 10 mm diameter HSS twist drills coated with TiAlN in the drilling of the compacted graphite iron-CGI. The input variables were the lubricant-cooling system (dry, Minimum Quantity Lubrication-MQL at a flow rate of 50 ml/h and flood cooling), the cutting parameters speed the feed rate and the length to diameter ratio of the holes. The average roughness parameters R_a and R_z were the response to the drilling tests. The analysis of the results, obtained using a Factorial Design (DOE) with four factors at two levels, shows that in general, the lubrication-cooling system variable is the most influential in the roughness. The use of cutting fluids, in general, causes a reduction in the roughness. The machining with application of cutting fluid in low quantity (MQF) reduces the R_a and R_z by an average of 0.38 μm (13%) and a 2.87 μm (18%). The drilling with application of cutting fluid by flood cooling decreases the R_a and R_z by an average of 0.80 μm (29%) and 4.47 μm (30%), respectively, compared with dry drilling. The results also showed that in the machining of holes with L/D = 4.0, instead of L/D = 1.5, the values of R_a and R_z increased by an average of 0.17 μm (6%) and 2.12 μm (14%), respectively. The cutting parameters speed and feed rate, in general, were relatively few influential in the roughness and the biggest influence observed was when the feed rate changed of 0.10 to 0.15 mm/rev, this caused a average increase in R_z of 2.17 μm (15%).

Keywords: length to diameter ratio (L/D), R_a and R_z roughness, lubricant-cooling system, drilling