

DESEMPENHO DE BROCAS HELICOIDAIS DE AÇO-RÁPIDO REVESTIDAS COM TiN APLICANDO MÍNIMA QUANTIDADE DE FLUIDO DE CORTE (MQF)

Éder Silva Costa

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG
Unidade Descentralizada de Divinópolis / eder@div.cefetmg.br

Álison Rocha Machado

Universidade Federal de Uberlândia – UFU – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia
Faculdade de Engenharia Mecânica / alissonm@mecanica.ufu.br

Egmar Antônio de Sousa Júnior

Universidade Federal de Uberlândia – UFU – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia
Faculdade de Engenharia Mecânica / egmarjunior@yahoo.com.br

Carlos Alberto Domingos Ramos

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG
Unidade Descentralizada de Araxá / cadram@mecanica.ufu.br

Resumo. Este trabalho avaliou o desempenho de brocas helicoidais de aço-rápido revestidas com TiN na usinagem do aço microligado DIN 38MnS6 aplicando Mínima Quantidade de Fluido de Corte (MQF). Foram usadas as vazões MQF de 30, 100 e 200 ml/h com óleo vegetal em confronto com a usinagem a seco e jorro (aplicação convencional) com óleo integral. Os testes foram realizados combinando-se duas velocidades de corte (45 e 60 m/min) e dois avanços (0,15 e 0,25 m/volta). Os parâmetros usados para comparação entre os diferentes sistemas lubri-refrigerantes avaliados foram: vida (número de furos usinados) e potência efetiva de corte. O sistema jorro proporcionou sempre maiores vidas médias para as brocas enquanto o sistema seco as menores. A usinagem com o sistema MQF ocupou posições intermediárias. O aumento da vazão MQF nem sempre propiciou uma maior vida média das ferramentas, e quando esse aumento ocorreu foi de maneira discreta. Em relação à potência de corte, para uma análise geral dos resultados, os sistemas testados mostraram desempenho similar, porém, com ligeira tendência da potência ser maior para o sistema jorro, seguido da condição a seco e com menores valores para o sistema MQF.

Palavras-chave: Furação, brocas helicoidais, Fluidos de corte, MQF, Potência Efetiva de Corte.

1. INTRODUÇÃO

Embora com significativa importância dentro da produção no setor metal-mecânico (melhoria no acabamento superficial, expulsão do cavaco da região de corte, controle dimensional, etc.) os fluidos de corte vem encontrando, durante os 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⁽¹⁻⁷⁾.

Os fatores apontados anteriormente têm levado as empresas da área produtiva, em especial a indústria metal-mecânica, a reverem seus processos, direcionando-os no sentido da “produção

limpa”,⁽⁸⁾. Do esforço deste direcionamento tem surgido novas alternativas de trabalho em funções de inovações tecnológicas que os processos de usinagem vem experimentando. Dentre as mais importantes alternativas podemos citar:

- Uso de máquinas-ferramentas equipadas com sistema de exaustão, para minimizar o problema da névoa que pode ser gerada durante a usinagem e inalada pelo operador⁽⁹⁾;
- Utilização de produtos novos conhecidos como “ecologicamente corretos ou verdes” que são óleos à base vegetal ou animal⁽¹⁰⁾;
- Redução ou eliminação de alguns produtos químicos constituintes dos fluidos de corte extremamente prejudiciais ao meio ambiente e a saúde do operador, como produtos clorados e a base de nitrato de sódio^(11, 12);
- Usinagem sem fluido de corte (usinagem a seco) ou com Mínima Quantidade de Fluido de Corte (MQF).

A usinagem a seco e com MQF vem sendo cada vez mais possível em função do surgimento de novas tecnologias como: máquinas operatrizes com maior potência, rigidez e rotações mais elevadas e, principalmente, pelo grande desenvolvimento dos materiais, revestimentos e geometrias que aumentam a resistência das ferramentas de corte ao desgaste e que permitem que estas trabalhem em temperaturas elevadas, compensando a ausência e até mesmo a inexistência dos meios lubri-refrigerantes no processo⁽¹³⁻¹⁵⁾.

A Técnica MQF pode ser uma alternativa promissora quando a usinagem a seco, batizada por muitos autores como usinagem ecológica, for economicamente muito inviável ou esbarrar em limitações operacionais para algumas aplicações, como é o caso do processo de furação, onde a inexistência do fluido e a conseqüente falta do meio transportador de cavacos podem causar danos à integridade da ferramenta precocemente^(7, 16). O processo de furação difere de outros processos populares pelo fato do corte se realizar internamente no material da peça. Isto implica em maior dificuldade de dissipação de calor gerado pelo processo de deformação plástica durante a formação do cavaco. Por esta razão a utilização de fluido de corte é imprescindível⁽¹⁷⁾.

O sistema de mínima quantidade de fluido de corte (MQF) pode ser definido como a pulverização de uma quantidade mínima de lubrificante em um fluxo de ar comprimido⁽¹⁶⁾. Segundo Sahn e Schneider⁽¹⁸⁾ a vazão do sistema MQF varia, geralmente, de 10 a 100 ml/h, a uma pressão de 4 a 6 kgf/cm². Estas quantidades mínimas de fluido são suficientes para reduzir substancialmente o atrito na ferramenta e evitar a aderência de material, já que a área de contato cavaco-ferramenta é muito pequena e sugere-se que a vazão de fluido necessária para promover a ação lubrificante seja pequena. Machado e Wallbank⁽¹⁹⁾ fizeram estudos e cálculos teóricos e chegaram a 0,1 ml/h, nesta vazão necessária a lubrificação é assegurada pelo óleo e a refrigeração principalmente pelo ar comprimido⁽¹⁾.

Alguns pesquisadores chegam a afirmarem que até cerca de 50% da usinagem será feita provavelmente ou a seco ou quase a seco nos próximos 5 ou 10 anos⁽²⁰⁾. Autoridades no assunto como Batzer e Sutherland⁽²¹⁾ e Graham⁽²²⁾, exigem que pelo menos nos casos em que a aplicação do fluido é discutível, ou quando as perdas são passíveis de amortecimentos, que se coloque as questões ecológicas em primeiro plano⁽¹⁶⁾.

Este trabalho visa comparar o desempenho da usinagem com aplicação externa de mínima quantidade de fluido de corte (MQF) no processo de furação, em relação à aplicação convencional de fluido (jorro) e a usinagem totalmente sem fluido de corte (a seco). Os parâmetros avaliadores do desempenho foram: vida das ferramentas e potência efetiva de corte. Os parâmetros variados para avaliação foram vazão MQF e condições de corte (velocidade e avanço por rotação).

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os testes de furação foram realizados na posição vertical, sentido descendente, sem pré-furo e sem furo de centro (furação em cheio). Os parâmetros que foram variados durante os testes com os

seus respectivos valores estão ilustrados na Tabela 1. Cada teste foi repetido (corrida B), e quando o desvio entre o teste e sua repetição era superior a 20% uma nova repetição era realizada (corrida C) e a média entre as corridas era o valor considerado para a vida das ferramentas de corte.

Tabela 1. Variáveis utilizadas nos testes de usinagem.

VARIÁVEL	VALOR	
Sist. Lubri-Refrigerante	MQF (óleo vegetal)	30, 100 e 200 [ml/h]
	JORRO (óleo integral)	750 l/h
	SECO	-
Velocidade de Corte (v_c)	45 e 60 [m/min]	
Avanço (f)	0,15 e 0,25 [mm/volta]	

A Tabela 2 apresenta todos os testes de furação realizados. Os testes com MQF na vazão de 200 ml/h foram realizados apenas na condição mais suave (45 m/min e 0,15 mm/volta) e mais severa (60 m/min e 0,25 mm/volta) devido ao número limitado de brocas com a mesma geometria disponível. Como critério de fim de vida para os ensaios foi utilizado o colapso das brocas⁽²³⁾.

Tabela 2. Número dos testes e suas respectivas condições de corte.

Teste N°	Sist. Lubri-Refrigerante	Vel. Corte (m/min)	Avanço (mm/volta)
01	SECO	45	0,15
02	SECO	45	0,25
03	SECO	60	0,15
04	SECO	60	0,25
05	MQF-30 ml/h	45	0,15
06	MQF-30 ml/h	45	0,25
07	MQF-30 ml/h	60	0,15
08	MQF-30 ml/h	60	0,25
09	MQF-100 ml/h	45	0,15
10	MQF-100 ml/h	45	0,25
11	MQF-100 ml/h	60	0,15
12	MQF-100 ml/h	60	0,25
13	MQF-200 ml/h	45	0,15
14	MQF-200 ml/h	60	0,25
15	JORRO	45	0,15
16	JORRO	45	0,25
17	JORRO	60	0,15
18	JORRO	60	0,25

A potência foi determinada, em média a cada 7 furos, através de medição da tensão e corrente, esta utilizando um sensor Hall acoplado ao cabo elétrico de alimentação do motor principal do centro de usinagem. O sistema foi automatizado com o uso de uma placa de aquisição e o software LabVIEW 6.5®. Os sinais foram adquiridos com a ferramenta apenas girando (potência em vazio) e com a ferramenta usinando, sendo a diferença entre estes dois valores denominada de potência efetiva de corte. A potência efetiva média assumida para cada corrida e para o teste foi dada pela média aritmética entre todas as aquisições realizadas na corrida e no teste, respectivamente.

A máquina-ferramenta usada para os ensaios foi um Centro de Usinagem Vertical CNC linha Discovery modelo 760 com potência do motor principal de 9 KW, rotação máxima de 10.000 rpm e potência total instalada de 15 KVA, fabricado pelas Indústrias Romi S.A. Os furos usinados eram não passantes e apresentavam profundidade de 30 mm, proporcionando uma relação do comprimento pelo diâmetro do furo igual a 3 ($L/D = 3$).

O material dos corpos de provas para os testes de vida das brocas foi o aço microligado perlítico de forja DIN 38MnS6, com dureza média de 252 HV. A composição química deste aço fornecido

pelo fabricante Aços Villares S.A, está ilustrada na Tabela 3. Este material apresentava seção aproximadamente quadrada de 100 mm e foi recebido em barras de 3,5 m de comprimento, que foram serradas transversalmente e posteriormente faceadas em tarugos de 65 mm para fabricação dos corpos de prova. Isto permitiu furar os dois lados do corpo de prova.

Para otimização do número de furos foi gerado um programa CNC que permitia a obtenção de 67 furo por face, alternados em fileiras de 7 e 8 furos. A distância lateral e o espaçamento entre o fundo dos furos no corpo de prova foram de 2,11 mm e 5 mm, respectivamente.

Tabela 3. Composição química do aço DIN 38MnS6.

C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	V	Al
0,3960	1,4400	0,0180	0,0650	0,5900	0,0500	0,1300	0,0200	0,0040	0,0040
Cu	Pb	Ti	Nb	B	Sn	Ca	H2	N2	Te
0,1000	0,0030	0,0021	0,0050	0,0008	0,0050	0,0006	0,0002	0,0171	0,0001

Para realização dos testes de furação utilizou-se brocas de aço-rápido/cobalto com revestimento TiN (10HSS-Co.TiN®), diâmetro de 10 mm, ângulos de hélice e ponta iguais a 30° e 130°. O revestimento apresenta dureza de 2300 HV e coeficiente de atrito contra o aço de 0,4. Esta broca traz a superfície de folga dividida em 3 estágios e foi fabricada pela OSG do Brasil.

Um fluido biodegradável, atóxico e insolúvel em água, com composição química de óleos vegetais (soja, milho e canola) e aditivos anticorrosivos, Accu-Lube®/LB-2000, foi utilizado para aplicação externa de MQF. A Tabela 4 mostra algumas características típicas deste óleo.

Tabela 4. Características típicas do óleo vegetal Accu-Lube®/LB-2000.

Propriedade	Valor
Densidade, g/ml (20/-3 °C)	0,900 – 0,940
Ponto de Ebulição	>100°C
Ponto de Fulgor	>300°C

O aparelho pulverizador do fluido, Modelo O2AO-STD fabricado pela ITW Fluid Products Group, 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. 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.

Para aplicação do fluido na forma de jorro foi usado o óleo integral DMI 410®, fabricado pela Shell do Brasil S.A., que traz na sua composição: óleos minerais refinados, parafínicos derivados de petróleo, enxofre, gordura de origem animal e aditivos de extrema pressão, anticorrosivo e antiespuma. Este óleo é recomendado para operações severas de usinagem de metais ferrosos de alta resistência. A Tabela 5 mostra algumas características típicas deste óleo.

O sistema utilizado para aplicação do fluido por jorro foi o sistema do próprio Centro de Usinagem CNC, que proporcionava uma vazão de 750 l/h distribuída por três bicos. Na condição de usinagem a seco somente o ar ambiente estava presente durante a execução do ensaio.

Tabela 5. Características típicas do óleo integral DMI 410®.

Propriedade	Valor
Densidade 20/4 °C	0,9032
Viscosidade Cinemática a 40 °C, cSt	10
Ponto de Fulgor, vaso aberto (COC), °C	178
Ponto de Fluidez °C	-9

3.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Vida das Brocas

Os resultados para a vida das brocas para os testes da Tabela 2, expresso em número de furos usinados, podem ser visualizados na Tabelas 6 e a Figura 1 mostra graficamente os resultados desta tabela. Os resultados dos testes revelaram que independente dos parâmetros de corte utilizados nesta etapa, o sistema lubri-refrigerante por jorro propiciou sempre as maiores vidas médias para as brocas e a condição a seco sempre as menores, com o sistema MQF ocupando posições intermediárias. O sistema lubri-refrigerante jorro, nas quatro situações de corte confrontadas foi superior ao sistema a seco, em 50% (59 furos), 20% (14 furos), 44% (41 furos) e 276% (30 furos), respectivamente.

Tabela 6. Resultado para vida das broca (número de furos usinados) para os testes da Tabela 2.

Teste N°	Corrida		Desvio (%)	Corrida C (Desvio > 20%)	Vida Média
	A	B			
01	122	111	9,0	-	117
02	103	85	17,5	-	94
03	81	64	21,0	65	70
04	20	14	30,0	18	17
05	122	142	14,1	-	132
06	120	105	12,5	-	113
07	74	78	5,4	-	76
08	31	23	25,8	32	29
09	128	150	14,7	-	139
10	112	134	16,4	-	123
11	76	55	27,6	84	72
12	28	34	17,6	-	31
13	133	128	3,8	-	131
14	34	33	3,0	-	34
15	159	193	17,6	-	176
16	144	125	13,2	-	135
17	76	91	16,5	-	84
18	43	50	14,0	-	47

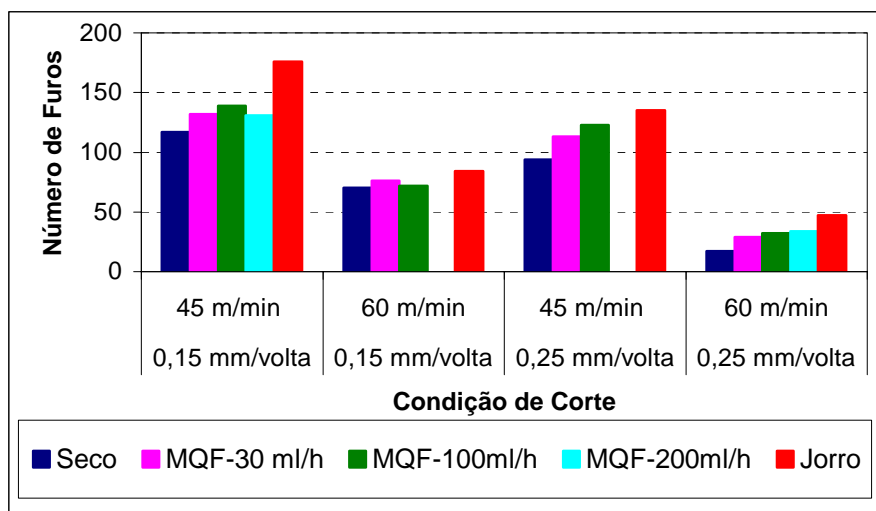


Figura 1. Vida média das brocas em função de quatro condições de corte e sistemas lubri-refrigerantes.

As diferenças entre os resultados de vida média para as diferentes vazões MQF testadas foram relativamente pequenas. Nota-se que a melhor vazão de MQF varia com a condição de corte. Santos⁽²⁴⁾, furando ferro fundido cinzento GH 190 com brocas revestidas, também obteve vidas maiores para a aplicação de MQF em relação ao corte a seco.

Os resultados evidenciaram que para a quarta condição de corte (60 m/min e 0,25 mm/volta), situação mais severa, os sistemas lubri-refrigerantes MQF e jorro atuaram de forma mais contundente no sentido de proporcionar uma maior vida média para as brocas em relação a usinagem a seco. Nesta condição as altas temperaturas desenvolvidas durante o corte, exige do material da ferramenta uma elevada dureza a quente, o que não é uma característica das brocas de aço-rápido com cobertura TiN, entretanto, a aplicação de fluidos de corte faz com que as temperaturas diminuam. O aumento da velocidade de corte promove o aumento da temperatura na interface cavaco-ferramenta⁽²⁵⁾, e conseqüentemente acelera os mecanismos de desgastes termicamente ativados. O alto poder refrigerante/lubrificante do fluido integral aplicado na forma de jorro foi determinante para que os resultados de vida das brocas superassem com folga os resultados obtidos aplicando a técnica MQF com óleo vegetal, que por sua vez apresentaram um desempenho superior a usinagem a seco.

A Tabela 7 apresenta uma análise estatística dos efeitos médios, calculados através de um planejamento fatorial em dois níveis, para a vida das ferramentas, levando-se em consideração todos os testes realizados. Como os testes com a vazão de 200 ml/h foram realizados somente para duas condições, a análise para esta vazão não foi considerada. Destacam-se os ganhos percentuais quando se passa da situação a seco para MQF e desta para o sistema jorro.

Tabela 7. Efeito médio na vida das brocas quando da variação do sistema lubri-refrigerante, para todos os testes realizados.

	Vida média (n° de furos)	Efeito na Vida Média
Seco ⇒ MQF 30	81	↑ 16%
Seco ⇒ MQF 100	83	↑ 20%
Seco ⇒ Jorro	93	↑ 39%
MQF 30 ⇒ MQF 100	90	↑ 04%
MQF 30 ⇒ Jorro	99	↑ 23%
MQF 100 ⇒ Jorro	101	↑ 19%

Os efeitos da variação dos parâmetros de corte, velocidade e avanço, levando-se em consideração as quatro condições de corte, também foram analisados. A elevação da velocidade de corte de 45 para 60 m/min diminuiu a vida média das brocas cerca de 83%, já o aumento do avanço de 0,15 para 0,25 mm/volta reduziu a vida média das brocas em torno de 38%. Estes resultados significam que para cada ponto percentual de aumento na velocidade de corte e no avanço, a vida média das brocas, reduzem em média 2,5% e 0,6%, respectivamente, o que comprova o peso maior da velocidade de corte na vida das ferramentas de corte⁽²⁶⁾.

3.2 Potência Efetiva de Corte

Os resultados de potência efetiva de corte média para cada corrida e para cada condição de corte dada na Tabela 2 estão disponíveis na Tabela 8.

Os valores médios registrados para a potência efetiva de corte apresentaram dispersão relativamente baixa, o desvio padrão médio foi de 88 W, que representa em relação à potência média para todos os testes (1430 W) 6,8%. A Figura 2 mostra estes resultados graficamente. As seguintes considerações podem ser feitas com relação aos resultados da potência:

- Em geral não houve diferença significativa na potência de corte entre os sistemas lubri-refrigerantes seco e jorro;

- Para as duas primeiras condições de corte, a usinagem com MQF apresentou tendência de proporcionar valores inferiores de potência em relação aos sistemas lubri-refrigerantes seco e jorro, sendo que o sistema jorro forneceu as maiores potências efetivas de corte;
- Para a condição mais severa, $v_c=60$ m/min e $f=0,25$ mm/volta, a usinagem por jorro proporcionou os menores valores de potência e a usinagem a seco os maiores;
- As vazões MQF de 30, 100 e 200 ml/h forneceram, estatisticamente os mesmos valores para a potência efetiva de corte, com exceção do confronto MQF 30 x MQF 100 na terceira condição de corte.

Tabela 8. Potência efetiva de corte média para os testes da Tabela 2.

Teste N°	Corrida			N° Dados	Desv. Padrão	Potência Média
	A	B	C			
01	1014	1004	-	17	97	1009
02	1477	1506	-	16	63	1493
03	1286	1285	1347	20	89	1307
04	1911	1943	1966	15	39	1938
05	960	956	-	15	90	958
06	1535	1516	-	18	101	1525
07	1233	1220	-	11	60	1226
08	1918	1932	1907	14	49	1918
09	1017	997	-	14	119	1007
10	1469	1450	-	16	71	1459
11	1256	1289	1247	18	85	1261
12	1922	1914	-	09	55	1917
13	1003	938	-	17	117	968
14	1915	1916	-	10	93	1916
15	1072	1076	-	16	140	1074
16	1535	1542	-	16	106	1538
17	1356	1332	-	13	119	1343
18	1888	1880	-	10	88	1884

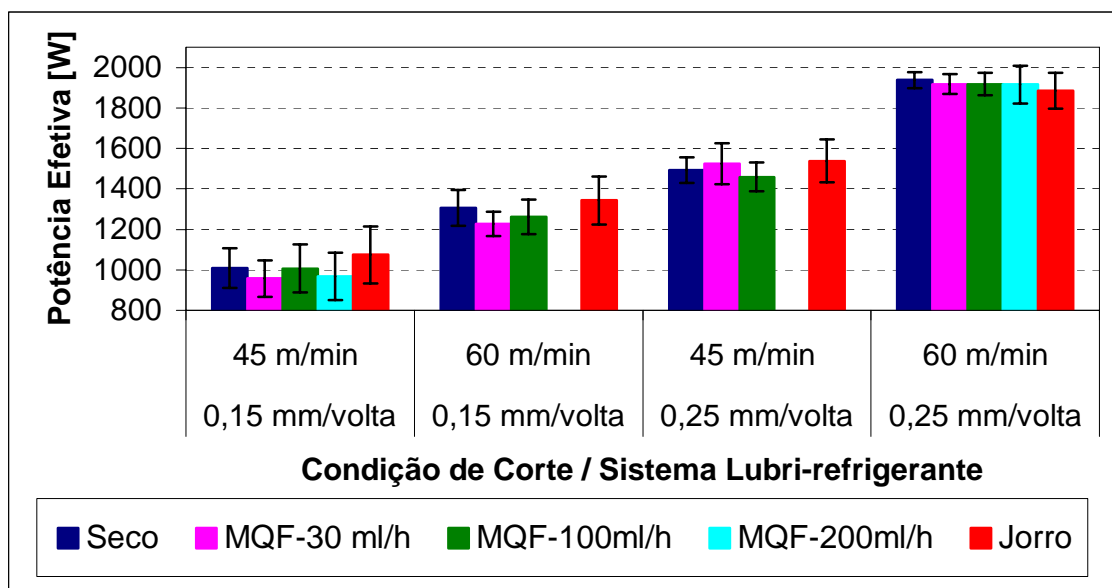


Figura 2. Potência média em função das quatro condições corte e dos sistemas lubri-refrigerantes utilizados.

Para fazermos uma comparação numérica do efeito na potência média quando da variação dos sistemas lubri-refrigerantes, consideraremos a potência de corte média para o sistema MQF como sendo a média dos valores obtidos para as vazões de 30, 100 e 200 ml/h, Tabela 9, mostrando mais exatamente que não houve diferenças significativas de potências entre os sistemas.

Tabela 9. Efeito médio na potência efetiva de corte quando da variação do sistema lubri-refrigerante, para todos os testes realizados.

	Potência Média [W]	Efeito na Potência Média [W]
Seco ⇒ MQF	1422	-29 (↓ 2%)
Seco ⇒ Jorro	1448	+23 (↑ 1,6%)
MQF ⇒ Jorro	1434	+53 (↑ 3,7%)

A tendência do sistema jorro de apresentar valores ligeiramente superiores de potência efetiva em relação aos sistemas MQF e seco, pode estar relacionado com a ação refrigerante superior do fluido integral, que pode promover um aumento da resistência ao cisalhamento do material, pela redução de temperatura⁽²⁷⁾.

Com relação a influência dos parâmetros de corte na potência efetiva, tem-se que o aumento da velocidade (de 45 para 60 m/min) e do avanço (0,15 para 0,25 mm/volta) causaram um aumento médio na potência efetiva de corte de 342 W (23,9%) e 552 W (38,6%), respectivamente.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos, levando-se em consideração os níveis das variáveis testadas, nos permitem as seguintes conclusões:

1. A usinagem a seco proporcionou as menores vidas para as brocas, o sistema lubri-refrigerante jorro de óleo integral as maiores e o sistema MQF de óleo vegetal nas vazões de 30, 100 e 200 ml/h valores intermediários;
2. Os sistemas MQF nas vazões de 30 e 100 ml/h de óleo vegetal e o sistema jorro de óleo integral aumentaram a vida das brocas em média 16%, 20% e 39%, respectivamente, em relação a usinagem a seco;
3. As vazões MQF de 30, 100 e 200 ml/h, proporcionaram vidas para as ferramentas muito próximas. O efeito provocado na vida média das brocas quando estas vazões foram variadas foi inferior a 6%;
4. A elevação da velocidade de corte de 45 m/min para 60 m/min e do avanço de 0,15 para 0,25 mm/volta diminuiu a vida das brocas em média 83% e 38%, o que significa que para cada ponto percentual de aumento na velocidade de corte e no avanço, a vida média das ferramentas reduzem em média 2,5% e 0,6%, respectivamente.
5. Em geral os sistemas lubri-refrigerantes tiveram pouca influência na potência efetiva de corte. Entretanto, o sistema MQF exigiu as menores potências efetivas de corte (2% menores que o sistema seco) e o sistema jorro as maiores (3,7% maiores que o sistema MQF);
6. O aumento da velocidade (de 45 para 60 m/min) e do avanço (de 0,15 para 0,25 mm/volta) causaram um aumento médio na potência efetiva de corte de 342 W (23,9%) e 552 W (38,6%), respectivamente.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMIG, à CAPES, ao IFM e ao CNPq, pelo suporte financeiro, e às empresas: Aços Villares S.A., Shell do Brasil S.A. e OSG-Ferramentas de Precisão Ltda, pelo fornecimento do aço, dos fluidos de corte e das brocas, respectivamente.

6. REFERÊNCIAS

1. HEISEL, U.; LUTZ, M.; SPATH, D.; WASSMER, R.; WALTER, U. A técnica da quantidade mínima de fluidos e sua aplicação nos processos de corte. **Máquinas e Metais**: Editora Aranda, p. 22-38, fev. 1998.
2. KALHÖFER, E. Dry machining – principles and applications. 2º Seminário Internacional de Alta Tecnologia, UNIMEP, Santa Bárbara D'Oeste –SP, julho, 1997.
3. KLOCHE, F. and EISENBLÄTTER, G. Presented at the opening session dry cutting. **Annals of the Cirp**, v. 46 (2), 1997, p. 519-526.
4. BENNETT, E. O. Dermatitis in machinists – Causes and solutions. Biotech Publishing: Angleton, Texas, USA, 1994, 240 p.
5. BENNETT, E. O. Systemic diseases in machinists. Biotech Publishing: Angleton, Texas, USA, 1995, 190 p.
6. LUKE, W. E. Toxicity of metalworking fluids: myths and reality - A chemist's perspectives. **Journal of the Society of Tribologists and Lubrication Engineers**, vol. 48, p. 425-429, 1992.
7. DÖRR, J., e SAHM, A. A mínima quantidade de lubrificantes avaliada pelos usuários. **Máquinas e Metais**: Editora Aranda, novembro, p. 20 – 39, nov. 2000.
8. CASTRO, P. R. A., 2001, **Aspectos tecnológicos da usinagem a seco e com mínima quantidade de fluido de corte na furação com broca helicoidal**. 2001. 178 f. Dissertação (Mestrado em Eng. Mecânica) - UFSC, Florianópolis-SC, julho, 2001.
9. SCANDIFFIO, I. **Uma contribuição ao estudo do corte a seco e ao corte com mínima quantidade de lubrificante em torneamento de aço**. 2000. 63 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica – UNICAMP, Campinas-SP, 2000.
10. TANIO, F. Lubrificantes industriais: soluções mais inteligentes e menos agressiva ao meio ambiente. **Revista Metal-Mecânica**, São Paulo-SP, p. 16-32, fev./Mar. 1999.
11. TEIXEIRA, C. R. **Benefícios ecológicos da redução e eliminação de fluidos de corte nos processos de usinagem com ferramentas de geometria definida**. 2001. 153 f. Tese (Doutorado em Eng. Mecânica) - UFSC, Florianópolis-SC, out. 2001.
12. SALES, W. F. **Influência das Características refrigerantes e lubrificantes de fluidos de corte**. 1999. 166 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – UFU, Uberlândia, UFU, 1999.
13. MIRANDA, G. W. A. et al. Quando as brocas de metal duro revestidas dispensam os fluidos de corte. **O Mundo da Usinagem**, ISSN 1518-6091, RG.BN 217.147, p. 20-25, março 2001.
14. KUBEL, E. Coatings crank up tool performance. **Manufacturing Engineering**, jan., p. 40-46, jan. 1998.
15. TEETER, F. J. Coating takes place of coolant. **American Machinist**, p. 50-52, 1999.
16. MACHADO, A. R. e DINIZ A. D. Corte a seco, com mínima quantidade de fluido e com fluido em abundância: usos, aplicações, vantagens e desvantagens. In: Congresso Usinagem 2000, São Paulo-SP, 2000.
17. SALES, W. F. et al. Influência do fluido de corte no desgaste de brocas de aço-rápido. In: IV Seminário de Desgaste, 1988, São Paulo SP. Anais.
18. SAHM, D. and SCHNEIDER. A produção sem refrigeração é interessante e deve ser mais conhecida. **Máquinas e Metais**. Editora Aranda, p. 38-55, agosto 1996.
19. MACHADO, A. R. and WALLBANK, J. The effect of extremely low lubricant volumes in machining. **Wear**, 210, p. 76-82, 1997.
20. NOVASKI, O. e DÖRR, J. Usinagem quase a seco. **Máquinas e Metais**: Editora Aranda, p. 34-41, nov. 1999.
21. BATZER, S. and SUTHERLAND, J. The dry cure for cullants ills. **Cutting Tool Engineering**, p. 34-44, June, 1998.
22. GRAHAM, D. Going dry. **Manufacturing Engineering**, Jan., p. 72-78, Jan. 2000.
23. NT MECH 038. Cutting fluids for drilling: evaluation by drill life test. Published by NORDTEST, 1997.

24. SANTOS, S. C. Estudo da influência de revestimentos e da aplicação de fluidos de corte no desempenho de brocas de aço-rápido e de metal duro integral na usinagem de ferro fundido. 2002. 199 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – UFU, Uberlândia, 2002.
25. TRENT, E. M. Metal Cutting. 3rd Edition: Butterworths-Heinemann Ltd, ISBN 0-408-10856, 1991, 245 p.
26. OSG-FERRAMENTAS DE PRECISÃO. Best Drill – Performance insuperável. Catálogo n. 19, fev. 2001.
27. MACHADO, A. R. e SILVA M. B. Usinagem dos Metais. Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem, Universidade federal de Uberlândia, 7^o versão, agosto, 2000.

PERFORMANCE OF TiN COATED HSS TWIST DRILLS WITH APPLICATION OF MINIMUM QUANTITY OF CUTTING FLUID

Éder Silva Costa

Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, – CEFET-MG, Brazil
Divinópolis Division Unit/ eder@div.cefetmg.br

Álison Rocha Machado

Federal University of Uberlândia – Faculty of Mechanical Engineering, Brazil
alisonm@mecanica.ufu.br

Egmar Antônio de Sousa Júnior

Federal University of Uberlândia – Faculty of Mechanical Engineering, Brazil
egmarjunior@yahoo.com.br

Carlos Alberto Domingos Ramos

Federal Center of Technological Education of Minas Gerais – CEFET-MG, Brazil
Araxá Division Unit / cadram@mecanica.ufu.br

Abstract. *Performance of TiN coated HSS twist drills was investigated when machining a HSLA steel DIN 38MnS6 with the application of MQF - minimum quantity of cutting fluid. The MQF system used vegetal oil with 30, 100 and 200 ml/h of flow. Dry cutting and conventional flood coolant application of neat mineral oil were also tested for comparisons. Combination of two cutting speeds (40 and 60 m/min) and two feed rates (0.15 and 0.25 mm/rev) were used. Tool lives (number of holes machined) and power consumption were the parameters considered. The conventional flood system always gave the best performance in terms of tool lives, while machining in dry condition gave the least performance in all conditions investigated. Machining with the MQF system showed intermediate performance. Increasing the fluid flow not always increased tool lives and when this did happen only a discrete increasing was observed. The power consumption, generally, showed similar behavior regardless the coolant system. However, with a slightly tendency of the flood cooling system to show higher power consumption, followed by the dry condition and MQF systems.*

Key words: *Drilling process, HSS twist drills, Cutting fluids, Minimum quantity of cutting fluids, Power consumption.*