

MAQUINAGEM ECOLÓGICA: FURAÇÃO DE ALUMÍNIO COM LUBRIFICAÇÃO MÍNIMA

J. Paulo Davim ¹, Pedro Reis ²

Dept Eng. Mecânica, Universidade de Aveiro, Campus Universitário de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal
Tel: +351 234 370830 ; Fax +351 234 370953 ¹email: pdavim@mec.ua.pt ² email : pedroreis@mec.ua.pt



RESUMO

Neste artigo pretende-se apresentar um estudo comparativo sobre a influência do tipo de lubrificação (a seco, mínima (250 ml.h⁻¹) e abundante (120000 ml.h⁻¹)) no processo de corte (Pressão específica de corte) e na qualidade superficial. Os ensaios de furação foram realizados em provetes de alumínio "Puro comercial". Através de um dinamómetro piezoeléctrico foram medidas as forças de corte, nomeadamente o momento (M) e força de avanço (Fa). Posteriormente efectuaram-se medições da rugosidade média aritmética (Ra) nos furos passantes. Os resultados obtidos demonstraram que a lubrificação mínima apresenta vantagens relativamente à abundante dado que do ponto de vista do processo, pressão específica de corte (Ks) e da peça (precisão dimensional) são semelhantes, mas do ponto de vista ecológico (ambiental) a lubrificação mínima apresenta inúmeros benefícios.

1. INTRODUÇÃO

Actualmente, a maioria das operações de maquinagem por arranque de aparas empregam fluídos de corte. Contudo, a sua utilização indiscriminada causa malefícios do ponto de vista ecológico (ambiental).

Segundo Byers, 1994, os fluídos de corte podem ser designados por refrigerantes ou lubrificantes. O termo refrigerante foi proposto pelos investigadores após F. W. Taylor ter verificado que a vida da ferramenta melhorava com a aplicação de água. O termo lubrificante surgiu com a introdução de óleos.

O emprego da lubrificação/refrigeração nas operações de corte de maquinagem apresentam dois objectivos distintos: a

redução do coeficiente de atrito (acção lubrificante) e a diminuição da temperatura (acção refrigerante). (Davim J.P., 1995).

A aplicação de um fluído de corte na zona de formação da aparas permite um melhoramento na vida da ferramenta, no acabamento superficial e na facilidade de remoção e transporte das aparas, ou seja, melhoria na eficiência do processo de corte. (Soković, M. e Mijanović, K., 2001)

No entanto, o emprego massivo dos fluídos de corte origina uma série de desvantagens, que além de representar malefícios para a saúde do operador e para o meio ambiente, têm implicações ao nível de custos de produção, já que os custos relacionados com a aquisição, manutenção e gestão dos fluídos são elevados.

Segundo Sanz C. e Fuentes, E., 2001, o custo relacionado com o fluido de corte e sua gestão é superior ao custo relacionado com a ferramenta de corte.

Na tentativa da redução da quantidade de fluidos de corte presentes na maquinagem, com o objectivo de melhorar a compatibilidade entre o meio ambiente e as máquinas-ferramenta, foi introduzido o conceito de lubrificação mínima. Baseia-se na técnica da diminuição da quantidade de fluido de corte, denominada por lubrificação mínima (Minimal Quantity Lubrication – MQL), utilizando fluidos de corte biodegradáveis e não tóxicos. (Soković, M. e Mijanović, K., 2001)

A maquinagem a seco pode ser uma alternativa desejada ecologicamente devido às leis de protecção ambientais e aos regulamentos de segurança e saúde sendo vista como uma prioridade das empresas num futuro próximo. No entanto, a maquinagem a seco apenas vai ser aceite no meio industrial quando a qualidade do produto e tempos de maquinagem forem semelhantes aos encontrados na maquinagem com lubrificação. (Sreejith, P.S., e Ngoi, B.K.A, 2000)

Os fluidos de corte são necessários na maquinagem de materiais como as ligas de alumínio e a maioria dos aços de baixa dureza que tendem a aderir à ferramenta de corte. Como tal foi dada especial atenção ao desenvolvimento da técnica da lubrificação mínima (MQL).

Recentemente, vários investigadores, (Braga et al., 1999, Sreejith and Ngoi, 2000, Soković and Mijanović, 2001, Braga et al., 2002, Kelly and Cotterell, 2002) dedicaram-se ao estudo da influência da lubrificação na furação de alumínio e concluíram que o futuro da lubrificação na furação passa pela utilização da maquinagem a seco e da lubrificação mínima (MQL). A utilização da lubrificação mínima conduz por um lado a uma qualidade do furo semelhante à obtida com lubrificação abundante e por outro lado as evidentes vantagens do ponto de vista ecológico e ambiental.

Braga et al. (1999), efectuaram uma pesquisa no sentido de restringir ao máximo o uso do fluido de corte na maquinagem. Para tal, desenvolveram um estudo com o objectivo de comparar o caudal de óleo utilizado no processo de lubrificação mínima com a lubrificação abundante para analisar a eficiência do caudal. Os resultados obtidos demonstraram que a maquinagem com um caudal mínimo de óleo foi mais eficaz quando comparada com a lubrificação com a lubrificação abundante. Também verificaram que o uso da técnica de lubrificação ar-óleo, com um caudal mínimo de 10 ml.h^{-1} foi suficiente para garantir a qualidade do furo.

Kelly, J. e Cotterell, M., (2002), efectuaram uma série de ensaios utilizando vários métodos de lubrificação com diversos parâmetros de corte com o objectivo de chegar a uma solução óptima para a furação das ligas de alumínio (ACP 5080). Os resultados obtidos, sugerem que o futuro da lubrificação na furação passa pela técnica da lubrificação mínima.

Braga et al. (2002), verificaram que o melhoramento das ferramentas de carbonetos sinterizados revestidos e das propriedades químicas e mecânicas dos materiais das ferramentas, têm provocado um aumento da vida da ferramenta nos processos de maquinagem. Dedicaram-se ao estudo da comparação do desempenho das brocas em presença da técnica da lubrificação mínima (10 ml.h^{-1} de óleo num fluxo de ar comprimido) e da lubrificação abundante de óleo refrigerante/lubrificante na furação da liga de Alumínio-Silício (A356).

Os resultados obtidos demonstraram que a utilização da lubrificação mínima apresentava resultados similares aos obtidos quando é usada a lubrificação abundante. Também concluíram que a qualidade dos furos obtida com a lubrificação mínima é igual ou superior à obtida com a lubrificação abundante.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1 Materiais e Meios

Os ensaios foram realizados em provetes de alumínio "Puro comercial" (Série AA 1050-O) obtidos por extrusão com uma espessura de 100mm. Foram efectuados furos passantes.

Na furação foram utilizadas brocas helicoidais de carbonetos sinterizados (K10), R415.5-0500-30-AC0 1010, como se observa na Figura 1, com 5 mm diâmetro e um ângulo de ponta de 140°, segundo a norma DIN 6537.

Para a realização dos ensaios foi utilizado o centro de maquinagem "VCE MIKRON 500", com uma potência de 11kW e uma velocidade de rotação máxima de 7500 r.p.m.

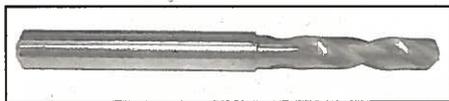


Fig.1 - Broca Helicoidal de carbonetos sinterizados (K10) utilizada nos ensaios de furação.

O aperto da placa, na prensa de maxilas do centro de maquinagem, foi realizado através de um sistema de pinças de modo a que não existissem vibrações nem deslocamento da mesma.

Através de um dinamómetro piezoeléctrico Kistler®9072 e do respectivo sistema de aquisição de dados (amplificador de carga Kistler®5019) foram adquiridas as forças de corte, nomeadamente o momento (M) e força de avanço (Fa), como se observa na Figura 2.

Posteriormente efectuou-se o cálculo do valor da pressão específica de corte (Ks), através da seguinte expressão:

$$K_s = \frac{8 \times M}{a \times d^2} \quad (1)$$

sendo, M o momento em N.cm, a o avanço em mm/rot e d o diâmetro do furo em mm.

A medição da rugosidade média aritmética (Ra) nos furos passantes foi

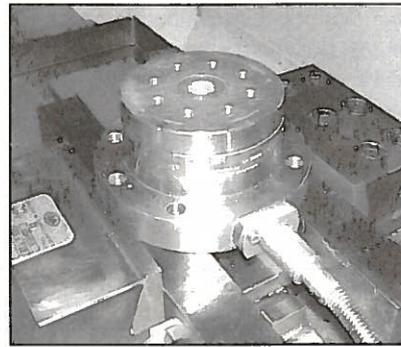


Fig. 2 - Dinamómetro piezoeléctrico Kistler® 9072 utilizado nos ensaios

efectuada através do rugosímetro Hommeltester T1000, de acordo com a Norma 4287/1, conforme se observa na Figura 3.

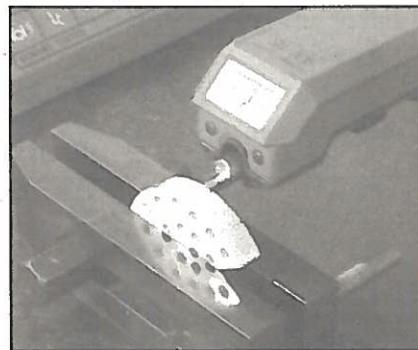


Fig. 3 - Medição da rugosidade média aritmética através do rugosímetro

3. RESULTADOS OBTIDOS E SUA DISCUSSÃO

O programa de ensaios teve como objectivo avaliar a influência do modo de lubrificação no processo de corte e na qualidade superficial, em função dos parâmetros processuais (Vc e a).

Na Tabela 3, podemos observar os resultados experimentais obtidos através da expressão (1) para a pressão específica de corte (Ks), e para a rugosidade média aritmética (Ra), em função dos parâmetros processuais, para os vários modos de lubrificação (a Seco, Mínima e Abundante).

Nas Figuras 4-6 podemos observar a influência do modo de lubrificação (a Seco, Mínima e Abundante), no momento (M), em função dos parâmetros processuais (Vc e a).

Tabela 3: Valores experimentais da pressão específica de corte (Ks), e da rugosidade média aritmética (Ra), em função dos parâmetros processuais para os vários modos de lubrificação (a) Seco, (b) Mínima, (c) Abundante.

Ensaio	Vc [m/min]	a [mm/rot]	Momento [N.cm]	Força de avanço [N]	Ks [N/mm ²]	Ra [μm]*
(a)	60 (3820 rpm)	0.15	138	826	2944	3.64
		0.2	142	1104	2272	5.3
		0.25	174	1341	2227.2	5.85
	75 (4775 rpm)	0.15	128	821	2730.7	3.79
		0.2	137	1032	2192	4.73
		0.25	160	1330	2048	5.44
	90 (5730 rpm)	0.15	120	811	2560	3.16
		0.2	127	955	2032	4.42
		0.25	149	1346	1907.2	5.24

* média de 3 ensaios

Ensaio	Vc [m/min]	a [mm/rot]	Momento [N.cm]	Força de avanço [N]	Ks [N/mm ²]	Ra [μm]*
(b)	60 (3820 rpm)	0.15	126	881	2688	2.38
		0.2	145	1091	2320	2.48
		0.25	168	1354	2150.4	2.51
	75 (4775 rpm)	0.15	105	862	2240	2.31
		0.2	125	1075	2000	2.32
		0.25	148	1331	1894.4	2.34
	90 (5730 rpm)	0.15	101	851	2154.7	1.97
		0.2	120	1035	1920	2.02
		0.25	145	1291	1856	2.13

* média de 3 ensaios

Ensaio	Vc [m/min]	a [mm/rot]	Momento [N.cm]	Força de avanço [N]	Ks [N/mm ²]	Ra [μm]*
(c)	60 (3820 rpm)	0.15	102	833	2176	1.8
		0.2	127	1113	2032	2.09
		0.25	154	1373	1971.2	2.13
	75 (4775 rpm)	0.15	100	897	2133.3	1.78
		0.2	122	1154	1952	1.93
		0.25	145	1367	1856	2
	90 (5730 rpm)	0.15	98	826	2090.7	1.64
		0.2	118	1110	1888	1.87
		0.25	132	1206	1689.6	1.75

* média de 3 ensaios

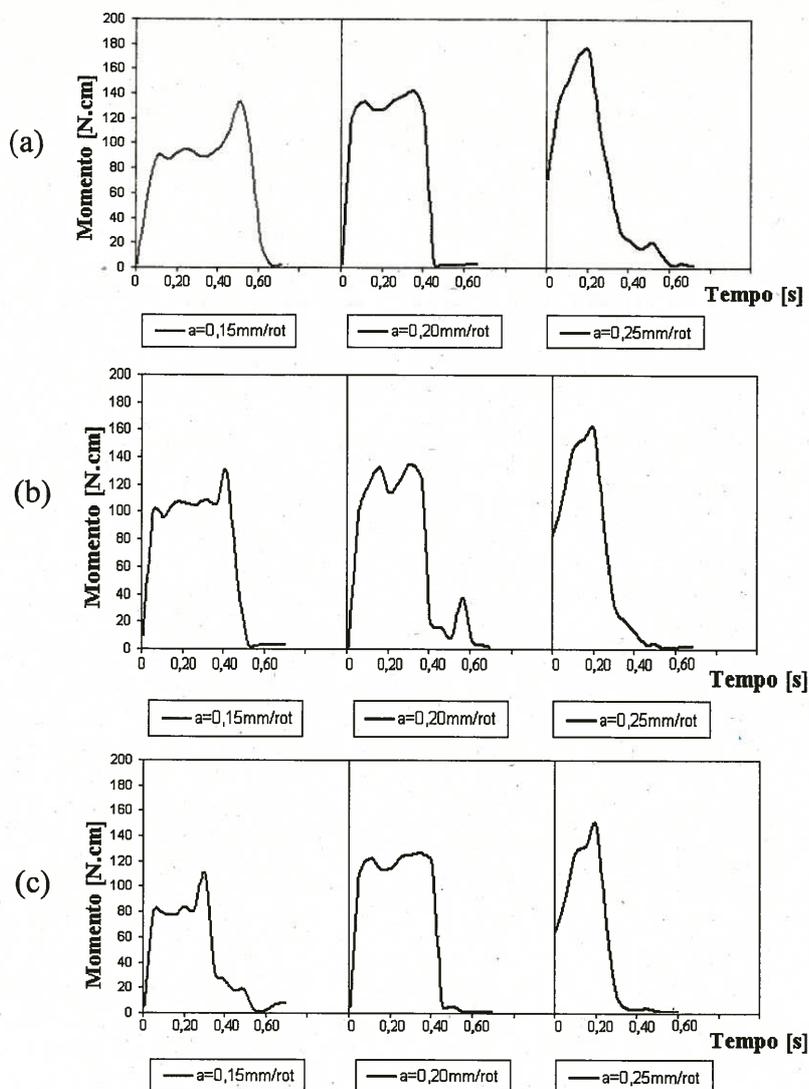


Fig. 4 - Momento em função do avanço para as diferentes velocidades de corte (a) $V_c = 60$ m/min, (b) $V_c = 75$ m/min e (c) $V_c = 90$ m/min para a lubrificação a Seco.

Na Figura 7, podemos observar a evolução da pressão específica de corte (K_s) em função do avanço, e da velocidade de corte para os vários tipos de lubrificação (a Seco, Mínima e Abundante).

Na Figura 7 podemos ainda verificar que a pressão específica de corte (K_s) diminui com o aumento de ambos os parâmetros processuais (velocidade de corte e avanço). Verificamos também que a maquinagem a seco apresenta valores de K_s superiores ao da maquinagem com lubrificação.

Na Figura 8, podemos observar a evolução da rugosidade média aritmética (R_a) em função dos parâmetros processuais (V_c e a) para os vários modos de lubrificação (a Seco, Mínima e Abundante).

Na Figura 8 podemos verificar que a rugosidade média aritmética (R_a) aumenta com o avanço e diminui com a velocidade de corte. Verificamos também que a maquinagem a seco apresenta valores de R_a superiores ao da maquinagem com lubrificação. Finalmente verificamos que os valores de R_a para a maquinagem com lubrificação mínima são semelhantes aos obtidos para a maquinagem com lubrificação abundante.

A precisão dimensional (IT) pode relacionar-se com a rugosidade média aritmética (R_a) através da seguinte equação empírica:

$$IT \approx Ra \times 30 \quad (2)$$

sendo, R_a a rugosidade média aritmética em μm .

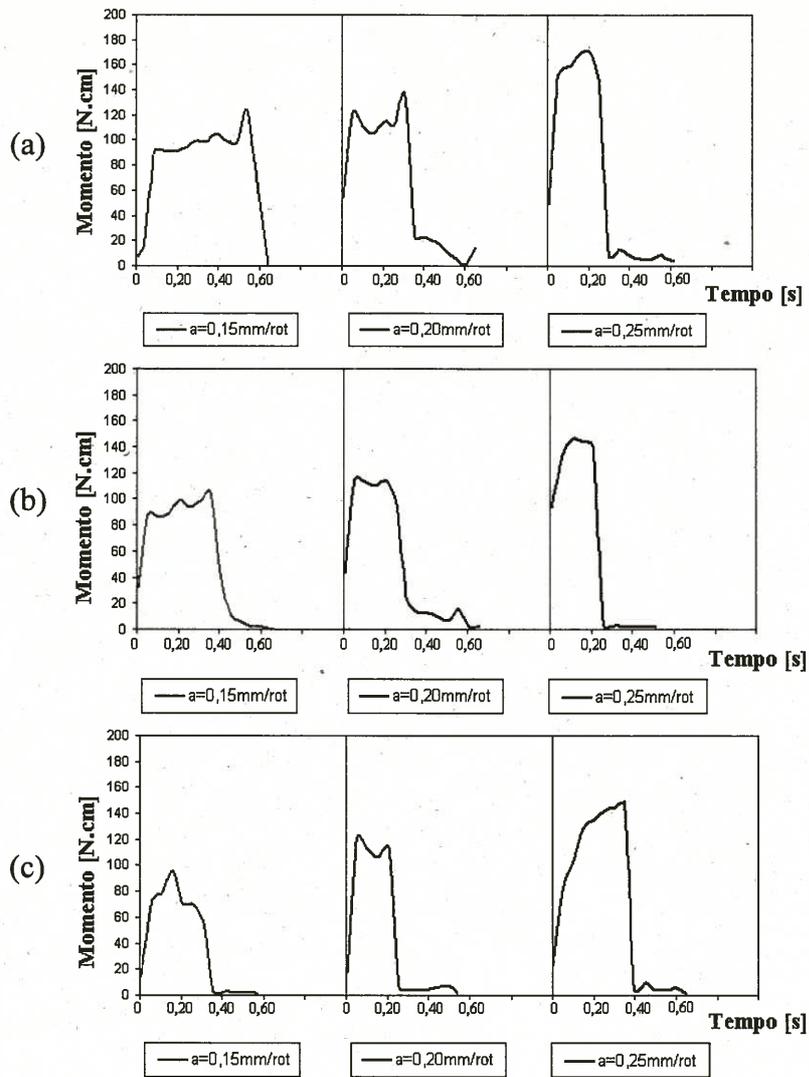
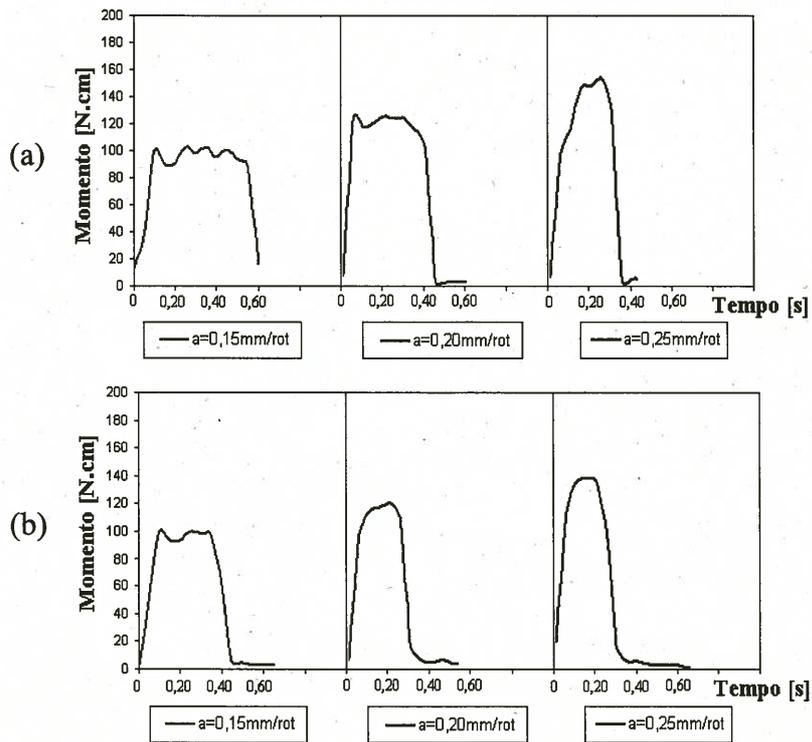


Fig. 5 - Momento em função do avanço para as diferentes velocidades de corte, (a) $V_c = 60$ m/min, (b) $V_c = 75$ m/min e (c) $V_c = 90$ m/min, para a lubrificação Mínima.



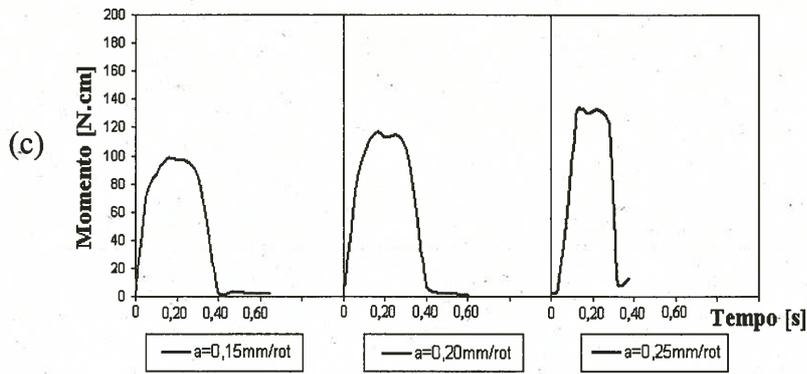


Fig. 6 - Momento em função do avanço para as diferentes velocidades de corte: (a) $V_c = 60$ m/min, (b) $V_c = 75$ m/min e (c) $V_c = 90$ m/min para a lubrificação Abundante

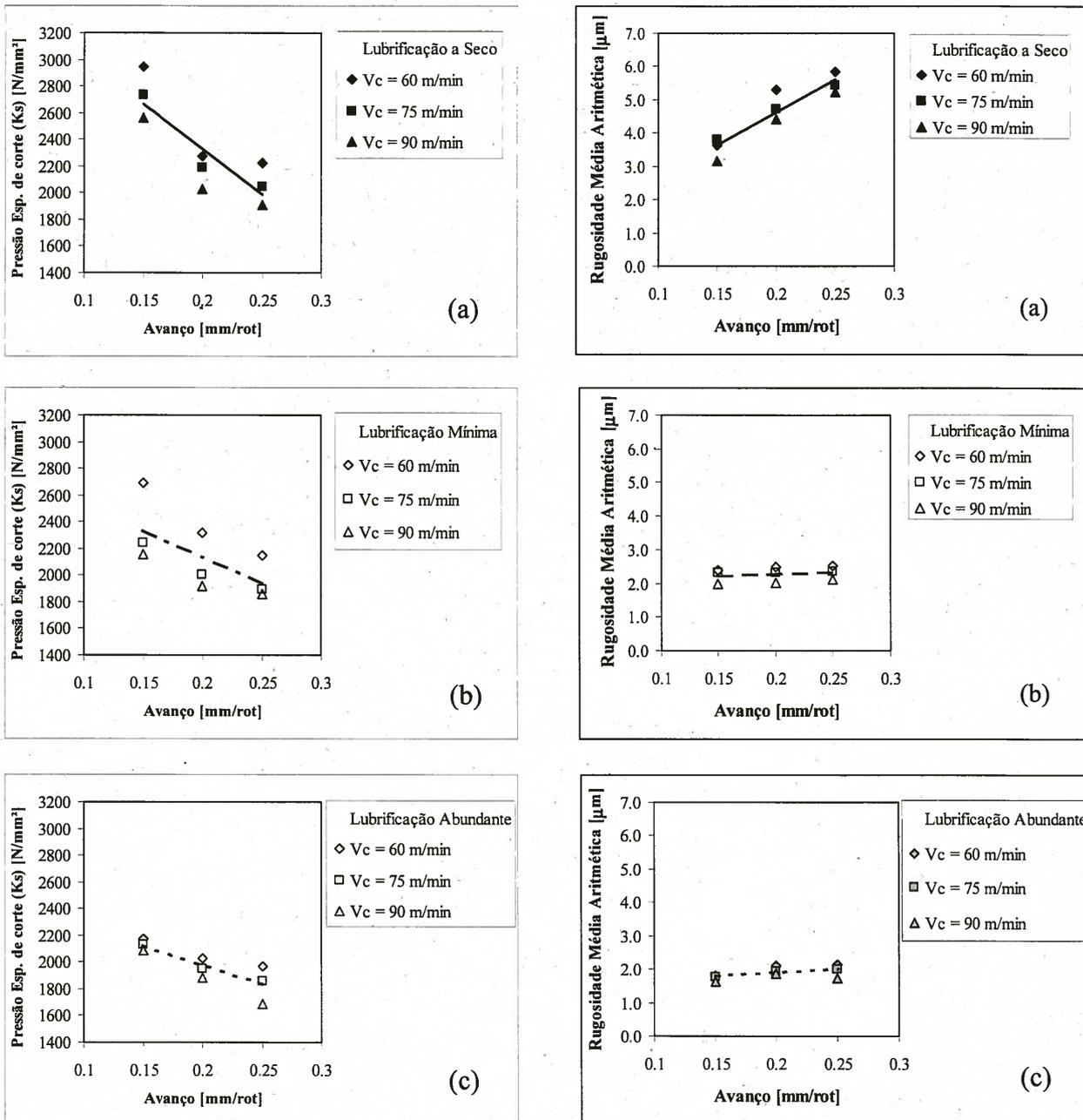


Fig. 7 - Evolução da pressão específica de corte (K_s) em função dos parâmetros processuais para os vários tipos de lubrificação (a) a Seco (b) Mínima e (c) Abundante

Fig. 8 - Evolução da rugosidade média aritmética (R_a) em função dos parâmetros processuais, para os vários modos de lubrificação (a) a Seco (b) Mínima e (c) Abundante

Na Figura 9, podemos observar a evolução da precisão dimensional (IT) em função dos parâmetros processuais, para os vários tipos de lubrificação.

Podemos observar na Figura 9, que a maquinação a seco origina pior precisão dimensional (IT 12-13) em relação à maquinação com lubrificação. Verificamos também que a precisão dimensional obtida com lubrificação (Mínima ou Abundante) apresenta valores similares (IT10-11) entre eles o que poderá levar à substituição da lubrificação Abundante pela Mínima.

4. CONCLUSÕES

Tendo em consideração os resultados experimentais obtidos na furação de alumínio com os vários modos de lubrificação podemos estabelecer as seguintes conclusões:

- a pressão específica de corte (K_s) diminui com ambos os parâmetros processuais (V_c e a). A maquinação a seco apresenta valores de K_s superiores aos da lubrificação.
- a rugosidade média aritmética (R_a) diminui com a velocidade de corte e aumenta com o avanço. A maquinação a

seco apresenta valores de R_a superiores aos da lubrificação.

- a maquinação com lubrificação mínima apresenta valores de R_a semelhantes aos obtidos para a maquinação com lubrificação abundante.
- a precisão dimensional melhora bastante com a lubrificação e existe uma variação notória na qualidade entre a maquinação a seco e com lubrificação, seja mínima ou abundante.
- em função dos parâmetros processuais utilizados foi possível obter qualidades superficiais (precisão dimensional) de construção mecânica corrente, nomeadamente IT10 e 11 para maquinação com lubrificação (mínima e abundante) e qualidade de construção mecânica grosseira, IT12 e 13, para a maquinação a seco.
- a lubrificação mínima apresenta vantagens relativamente à abundante dado que do ponto de vista do processo (K_s) e qualidade superficial (IT) são semelhantes, mas do ponto de vista ecológico (ambiental) a mínima apresenta inúmeros benefícios.

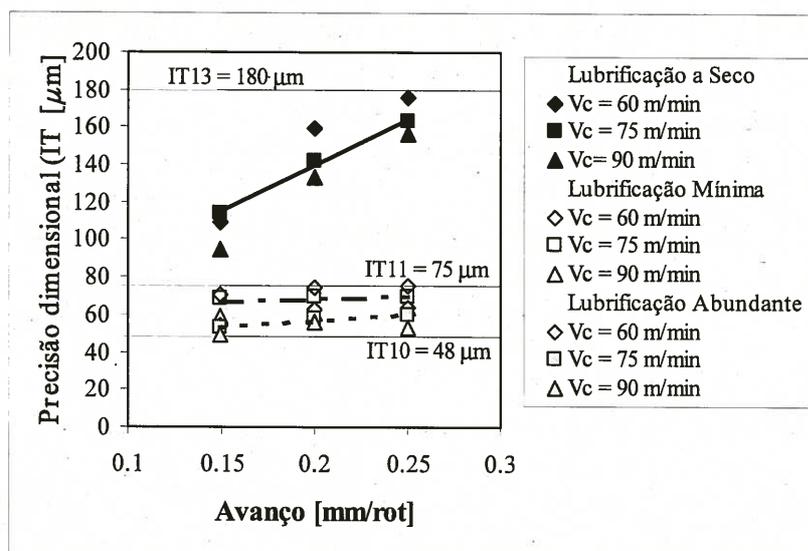


Fig. 9 - Evolução da precisão dimensional (IT) em função dos parâmetros processuais, para os vários modos de lubrificação

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos Eng.^{os} António Festas, Carlos Peixoto e Rute Gomes a colaboração prestada na experimentação.

Finalmente agradecem ao Prof. A. Monteiro Baptista da FEUP pela cedência do dinamómetro piezoeléctrico para a medição das forças de corte.

REFERÊNCIAS

- Braga D. U., Diniz A. E., Coppini N. L. e Miranda G. W. A., "Utilização da Técnica de Mínima Lubrificação por Névoa na Furação da Liga de Alumínio-Silício SAE-323", *IV Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica*, Santiago-Chile, 1999.
- Braga D. U., Diniz A. E., Coppini N. L. e Miranda G. W. A., "Using a Minimum Quantity of Lubricant (MQL) and a Diamond Coated Tool in the Drilling of Aluminium-Silicon Alloys", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.122, 2002, pp. 127-138.
- Byers, J.P., "Metalworking fluids", *Marcel Dekker*, New York, 1994, pp.61- 98.
- Davim J. P., "Princípios de Maquinagem", *Livraria Almedina*, Coimbra, 1995, pp. 169-177.
- Soković M., e Mijanović K., "Ecological Aspects of the Cutting Fluids and its Influence on Quantifiable Parameters of the Cutting Processes", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.109, 2001, pp. 181-189.
- Sanz, C., e Fuentes, E., "Mecanizado en Seco: Alternativas al Método Convencional de Lubricación/Refrigeración", *Revista TOPE*, 2001, pp. 29-34.
- Sreejith P. S. e Ngoi B. K. A., "Dry Machining: Machining of the Future", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 101, 2000, pp. 287-291.
- Kelly J. F. e Cotterell M. G., "Minimal Lubrification Machining of Aluminium Alloys", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 120, 2002, pp. 327-334.

