

## AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO GRAFITE UTILIZADO COMO LUBRIFICANTE SÓLIDO NO TORNEAMENTO DO AÇO ABNT 1050

Ivanilson Sousa da Costa, [ivanilsonsousacosta@hotmail.com](mailto:ivanilsonsousacosta@hotmail.com)

Armando Marques, [amarques@ifes.edu.br](mailto:amarques@ifes.edu.br)

Álisson Rocha Machado, [alissonm@mecanica.ufu.br](mailto:alissonm@mecanica.ufu.br)

**Resumo.** A aplicação de fluidos de corte pode influenciar o desempenho do processo de usinagem por causa de sua ação de lubrificação e refrigeração. No entanto, devido aos problemas ambientais e de saúde dos operadores causados pelos fluidos de cortes convencionais há uma maior necessidade de identificar alternativas mais sustentáveis, ou seja, reduzir ou eliminar a utilização de fluidos que venham ser prejudiciais ao operador e ao meio ambiente. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência do grafite como lubrificante sólido (na forma de mistura com o óleo lubrificante SAE 40 utilizando o mesmo princípio da técnica de aplicação de fluido MQF) no processo de torneamento cilíndrico externo do aço ABNT 1050. Foram empregadas velocidades de corte que variaram de 40 a 250 m/min, avanços de 0,05 a 0,35mm/rot e com a profundidade de corte ( $a_p = 2\text{mm}$ ) constante. Para efeito de comparação foram realizados testes de usinagem na condição a seco (sem fluido de corte) e fluido de corte convencional com aplicação por jorro. A eficiência do lubrificante sólido foi avaliada em termos das forças de corte e acabamento superficial. Os resultados mostraram uma pequena redução das forças de corte com a aplicação do lubrificante sólido pelo sistema MQF/Grafite, enquanto que a rugosidade superficial praticamente se manteve inalterada, em comparação à usinagem com jorro convencional.

**Palavras chave:** torneamento, lubrificante sólido, forças de usinagem, rugosidade.

### 1. INTRODUÇÃO

A utilização de fluidos de corte nos processos de usinagem é de extrema importância, pois o fluido promove a redução do atrito na região de corte por meio de lubrificação e/ou redução da temperatura por meio do resfriamento pelo aumento da convecção, reduzindo o desgaste através de uma combinação destas funções. Entretanto, a aplicação de fluidos convencionais é muitas vezes problemática, tanto pelo fator ambiental quanto pelo fator econômico (aquisição e descarte). Por estes motivos, a utilização de fluido de corte tem diminuído nos últimos anos e outros métodos de utilização têm sido propostos: resfriamento criogênico, mínima quantidade de fluido (MQF) e usinagem com lubrificantes sólidos.

A usinagem sem utilização de fluido de corte (a seco) pode ser uma alternativa interessante na indústria para reduzir os custos ambientais e de produção. Entretanto, quando o fluido de corte se faz necessário, este é geralmente utilizado por jorro a baixa pressão (ou por gravidade) devido a sua simplicidade.

A aplicação de fluido de corte pelo método da atomização (névoa ou mínima quantidade de fluido - MQF) consiste no princípio de utilização total do óleo de corte sem resíduos, ou seja, com baixo fluxo do fluido de corte (na faixa de 10 ml/h a 200 ml/h) aplicado a elevadas pressões. A mistura de ar comprimido e de gotículas de óleo é aplicada na interface cavaco-ferramenta. A função de lubrificação é assegurada pelo óleo e a de refrigeração, mesmo que pequena, pelo ar comprimido (Dörr, 1999).

A usinagem assistida com lubrificantes sólidos é outra tentativa de evitar a utilização de fluidos de corte, tendo demonstrado ser uma solução plausível em substituição aos fluidos convencionais. Os lubrificantes sólidos típicos utilizados em usinagem são: o grafite e o bissulfeto de molibdênio ( $\text{MoS}_2$ ), lubrificantes eficazes devido à sua estrutura lamelar, que atuam reduzindo o atrito na interface cavaco-ferramenta, aumentando a vida da ferramenta e melhorando o acabamento superficial, sem poluir o meio ambiente.

A aplicação do lubrificante sólido pode ser feita de várias formas, uma delas é misturado com o fluido de corte convencional. Zailani *et al.* (2011) aplicaram este sistema no fresamento de um aço baixo carbono, afim de investigar o papel dos lubrificantes sólidos, no caso grafite, sobre o desgaste da ferramenta e acabamento superficial. A comparação foi feita com um fluido lubrificante semi-sintético comum na proporção de 1:20 e uma mistura deste mesmo fluido com grafite em diferentes quantidades (50g, 100g e 150g). Os resultados destes autores mostraram que houve uma melhora significativa no acabamento superficial e no desgaste das ferramentas, quando comparado com a aplicação do fluido de corte comum.

Krishna e Rao (2008) investigaram o efeito do lubrificante sólido no torneamento do ABNT 1040. Neste caso, o lubrificante sólido (grafite e ácido bórico, com granulometria de 50  $\mu\text{m}$ ) foi misturado ao óleo SAE 40 em proporções de 5%, 10%, 20%, 30% e 40%, em peso e aplicado na região de corte por gravidade, com uma vazão de 10 ml/min. Os resultados mostraram uma redução no desgaste de flanco da ferramenta, na rugosidade superficial e nas forças de corte, em comparação com a usinagem a seco e com fluido de corte, sendo que o melhor desempenho foi observado na mistura contendo 20% de ácido bórico.

Reddy *et al.* (2010) realizaram experimentos comparando os resultados obtidos no processo de furação do aço AISI 4340, utilizando o grafite como lubrificante sólido com as condições de usinagem por jorro ou usinagem a seco. A aplicação do lubrificante sólido foi realizada através de uma fonte eletrostática. Foi utilizada uma mistura de 35% de grafite com óleo SAE 40 e aplicada na região de corte através de um jato com alta velocidade e uma taxa de fluxo extremamente baixa. Os resultados mostraram que a vida da ferramenta melhorou significativamente, devido ao fato de que a mistura de lubrificante sólido ter sido capaz de penetrar na interface cavaco-ferramenta e realizar tanto as funções de lubrificação quanto a de refrigeração de forma satisfatória.

## 2. MATERIAIS E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os ensaios foram realizados nas condições a seco, com jorro e com lubrificante sólido misturado ao óleo SAE 40 aplicado por MQF, no torneamento de barras de aço ABNT 1050, a fim de avaliar as forças de usinagem e os parâmetros de acabamento superficial. Foi utilizado o torno CNC linha Multiplic 35D (ROMI S.A.), com potência de 20 kVA e rotação máxima de 3000 rpm.

Os corpos de prova utilizados foram preparados com 500 mm de comprimento e 50,8 mm de diâmetro. Foram utilizadas duas condições de corte mantendo-se constante a profundidade de corte ( $a_p = 2\text{ mm}$ ). Na primeira condição o avanço foi mantido constante em 0,15 mm/rot. e as velocidades de corte variaram de 40 a 250 m/min. Posteriormente, na segunda condição, foi mantida uma velocidade constante de 200 m/min e o avanço variando de 0,05 a 0,35 mm/rot. As ferramentas utilizadas foram metal duro revestidas de especificação ISO KNMX160405R-S1 e o porta ferramenta CKJNR2525M16, com ângulo de posição de  $90^\circ$ . Foi utilizada uma aresta de corte nova para cada um dos sistemas lubri-refrigerante utilizados.

Para a medição das componentes de força de usinagem foi utilizado dinamômetro Kistler modelo 9441B. O sinal foi captado pelo programa LabView, utilizando uma taxa de aquisição de 1 kHz. A rugosidade foi medida utilizando um rugosímetro Mitutoyo SJ-201p com resolução de  $0,01\text{ }\mu\text{m}$ , utilizando-se um *cut-off* de 0,8 mm.

Na condição de aplicação por jorro foi utilizado um óleo miscível em água (Vasco 1000 – Blaser), com concentração de 8% e uma vazão de 828 l/h. O lubrificante sólido utilizado foi o grafite com uma granulometria 325 mesh misturado com óleo SAE 40 na proporção de 20% em peso e aplicado com um dispositivo de aplicação MQF com uma vazão de 66,6 ml/h e pressão média de 0,7 MPa.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Forças de Usinagem

Os resultados das forças de corte ( $F_c$ ) foram avaliados segundo os gráficos abaixo, Fig. (1) e Fig. (2):

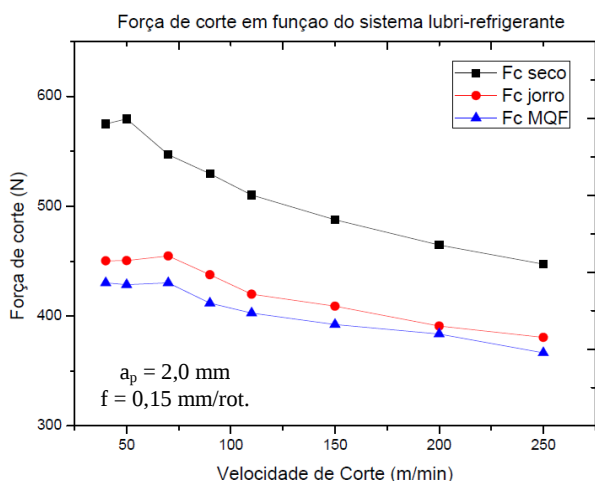


Figura 1. Força de Corte  $\times$  Velocidade de corte.

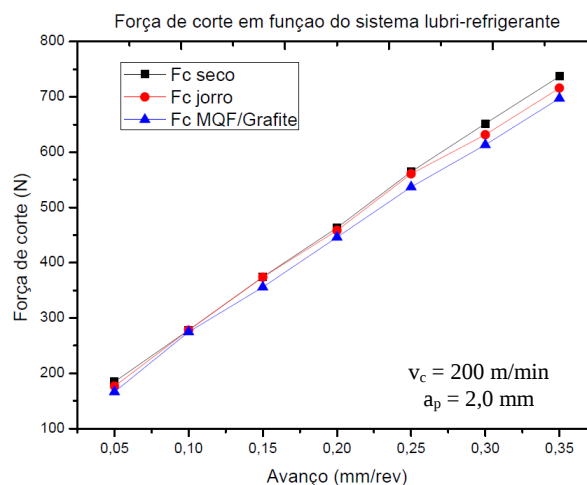


Figura 2. Força de Corte  $\times$  Avanço.

Como esperado, a Fig. (1) mostra que a força de corte decresce com o aumento da velocidade de corte, e esta redução se dá em função do aumento da temperatura de usinagem que facilita escoamento e o cisalhamento do material. Os maiores valores de força de corte foram para os testes com usinagem a seco. O sistema lubri-refrigerante proposto denominado MQF/Grafite e o lubrificante convencional aplicado por jorro apresentaram resultados melhores que a usinagem a seco quando a velocidade de corte variou, com pequena vantagem para o MQF/Grafite. Esta vantagem é mais visível para velocidades de corte menores, isto pode ser atribuído ao maior poder lubrificante do grafite.

Semelhantemente, a Fig. (2) mostra que a força de corte cresce com o aumento do avanço para todos os sistemas de lubri-refrigeração utilizados, e que estes valores estão muito próximos, colocando o MQF/Grafite com ligeira vantagem

em relação à usinagem convencional com jorro. No entanto, é importante salientar que sob o ponto de vista ambiental, o sistema de lubri-refrigeração proposto MQF/Grafite apresenta uma grande vantagem sobre o sistema convencional por jorro, pois a quantidade de fluido utilizado e a vazão são muito menores.

### 3.2. Rugosidade Superficial

Os resultados de rugosidade superficial ( $R_a$ ) foram avaliados segundo os gráficos abaixo, Fig. (3) e Fig. (4):

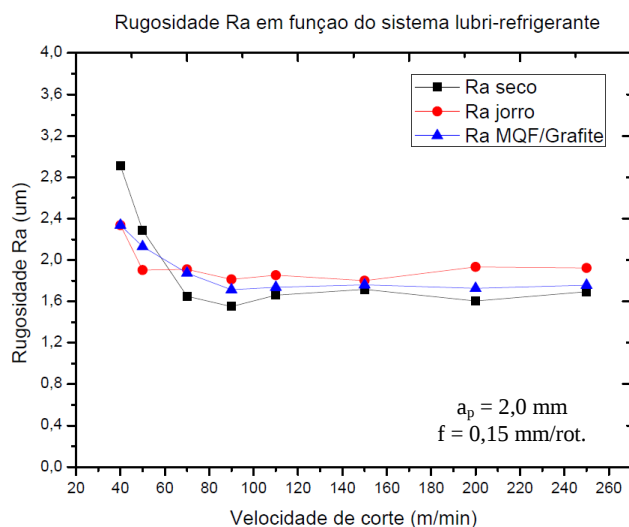


Figura 3. Rugosidade  $R_a \times$  Velocidade de corte.

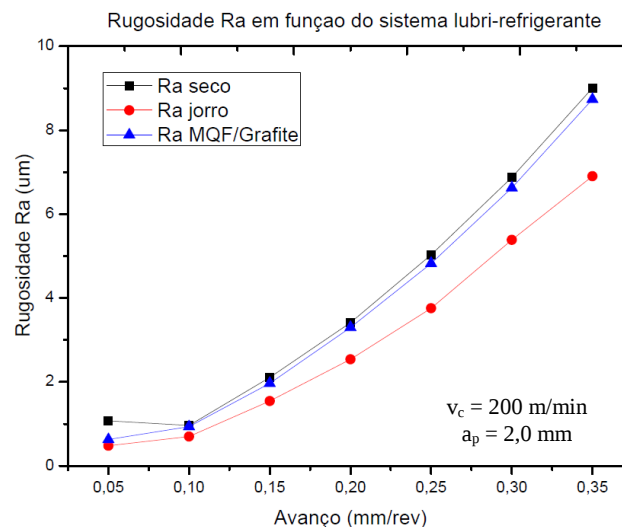


Figura 4. Rugosidade  $R_a \times$  Avanço.

A Figura (3) apresenta os valores da rugosidade  $R_a$  em função da velocidade de corte. A Figura (4) mostra a variação da rugosidade  $R_a$  com o avanço. Os comportamentos também se mostraram previsíveis, a rugosidade decresce com o aumento da velocidade de corte e cresce com o aumento do avanço. Em ambas as representações, o sistema lubri-refrigerante proposto MQF/Grafite não apresentou vantagens sobre os demais sistemas.

### 4. CONCLUSÕES

Apesar de ser teoricamente uma proposta para facilitar a usinagem do aço ABNT 1050, ao se utilizar o sistema de mínima quantidade de fluido associando o grafite (lubrificante sólido) misturado ao óleo, os resultados obtidos mostraram que o ganho efetivo na usinabilidade não foi o esperado no que se refere ao acabamento superficial.

Os valores de forças de corte no sistema MQF/Grafite foram inferiores aos testes a seco e com jorro, devido possivelmente ao maior poder lubrificante do MQF/Grafite. Entretanto, o desempenho do MQF/Grafite foi bem próximo à usinagem com jorro. Mas, do ponto de vista ambiental este sistema pode ser uma alternativa interessante para reduzir a poluição causada pelos fluidos de corte na usinagem.

Os valores de rugosidade superficial no sistema MQF/Grafite apresentaram resultados semelhantes aos testes a seco, destacando-se como melhor opção a usinagem com jorro convencional. Isso pode ter ocorrido devido a não uniformidade na aplicação da mistura óleo/grafite.

### 6. REFERÊNCIAS

- Dörr, J., Novaski, O., "Usinagem sem Refrigeração. Máquinas e Metais", São Paulo, p. 18-27, mar. 1999.
- Rao, D. N., Krishna, P. V. The influence of solid lubricant particle size on machining parameters in turning, International Journal of Machine Tools & Manufacture 48 (2008) 107–111.
- Reddy, N. S. K., Nouari, M., Yang, M. Development of electrostatic solid lubrication system for improvement in machining process performance / International Journal of Machine Tools & Manufacture 50 (2010) 789–797.
- Trent, E. M., Wright, P.K., 2000, 'Metal Cutting', Editora: Butterworths Heinemann, 4ª edição, ISBN 0-7506-7069-X, Woburn, EUA.
- Zailani, Z.A., Hamidon, R., Hussin, M.S., Hamzas, M.F.M.A., Hadi, H. The Influence Of Solid Lubricant In Machining Parameter of Milling Operation, International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST), Vol. 3 No. 6 June 2011.

## **7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES**

O(s) autor(es) é (são) os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.