

INFLUÊNCIA DA QUANTIDADE DE FLUIDO DE CORTE NO FRESAMENTO DE TOPO DO AÇO INOXIDÁVEL DUPLEX UNS S32205

Carlos Henrique de Oliveira
Tarcísio Gonçalves de Brito
Emerson José de Paiva

IEI-UNIFEI-Universidade Federal de Itajubá. Campus Avançado de Itabira. Rua Irmã Ivone Drummond, nº 200. CEP:35903-087. Itabira-MG.

e-mails carlos.henrique@unifei.edu.br; tgbrito@unifei.edu.br; emersonpaiva@unifei.edu.br.

Sandra Miranda Neves

João Roberto Ferreira

IEPG-UNIFEI-Universidade Federal de Itajubá. Av. BPS. 1303 C.P 50. 37500-903 Itajubá-MG.

e-mails sandraneves@unifei.edu.br; jorofe@unifei.edu.br.

Resumo. A eficiência do uso de fluidos de corte nos processos de usinagem é bastante questionada pela literatura, devido à contribuição para o aumento de poluentes, legislações ambientais mais severas com descartes industriais, problemas relacionados à saúde humana e custos operacionais. A utilização de mínima quantidade de fluido é uma técnica alternativa a ser aplicada em alguns processos de usinagem. O uso da mínima vazão de óleo de corte na região usinada pode minimizar a rugosidade e o desgaste da ferramenta. Neste trabalho estudou-se três alternativas, sem fluido de corte, com fluido na mínima (150 ml/min) e na máxima vazão (12 l/min), na usinagem por fresamento do aço inoxidável duplex UNS S32205, com os seguintes parâmetros de corte: velocidade de corte (60 e 70 m/min), avanço por dente (0,10 mm/dente), profundidade de corte (1,0 mm) e largura de corte (17,5 mm). As condições de mínima e máxima vazão, para a velocidade de 60 m/min, apresentaram os maiores tempos de vida da ferramenta. Os menores valores de rugosidade foram observados para a velocidade de 60 m/min na mínima vazão; e ao atingir o $VB_{máx}$ de 0,3 mm, para a velocidade de 70 m/min, a rugosidade foi de 0,56 μm e tempo de corte de 10 min na condição de máxima vazão.

Palavras chave: Aço Inoxidável Duplex UNS S32205. Fresamento de Topo. Quantidade de Fluido. Vida da Ferramenta. Rugosidade de Superfície R_a .

1. INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis duplex apresentam, em proporções idênticas, uma estrutura contendo ferrita e austenita (De Oliveira Junior *et al.*, 2014; Nomani *et al.*, 2017). Devido à estrutura bifásica, esta classe de material apresenta excelente ductibilidade e tenacidade, e alta resistência mecânica, à oxidação, à corrosão sob tensão e por pites, sendo amplamente utilizada nas indústrias de petróleo e gás (Ahmed *et al.*, 2017; Gamarra e Diniz, 2018; Dhananchezian *et al.*, 2018; Selvaraj, 2018). Esses materiais são de baixa usinabilidade devido à alta taxa de endurecimento e baixa condutividade térmica que influencia na qualidade de superfície das peças usinadas por fresamento (Koyee *et al.*, 2014; Selvaraj *et al.*, 2014; Selvaraj, 2017; Policena *et al.*, 2018).

No fresamento dos aços inoxidáveis duplex, a ausência do fluido de corte, contribui para o aumento do calor gerado na interface ferramenta-cavaco, aumentando a temperatura localizada na região de corte o que provoca a aderência do material que está sendo usinado na ferramenta de corte, levando ao seu desgaste prematuro (Krolczyk, 2014; Rajaguru e Arunachalam, 2017).

Para amenizar os efeitos gerados pelo aumento de temperatura durante o processo de usinagem por fresamento, é necessário a combinação da escolha do material da ferramenta e a utilização de fluido de corte, porém o seu uso, em processos de corte interrompido, característico do fresamento, contribui para o surgimento de trincas nos insertos de corte, causada pela flutuação térmica influenciando na vida da ferramenta (Zhang *et al.*, 2019). A utilização de grandes quantidades de fluido de corte está sendo questionada em função dos impactos ambientais, a saúde dos operadores e o alto custo de usinagem (Sharma *et al.*, 2016). Para superar a vazão abundante de fluido, pesquisas vem sendo realizadas com a aplicação de técnicas da mínima quantidade de lubrificação como alternativa de minimizar os impactos ambientais sem perder a qualidade do produto final (Krolczyk, 2014).

Neste contexto, esta pesquisa tem como objetivo estudar três alternativas de corte na operação de fresamento de topo do aço inoxidável duplex UNS S32205. Para efeito de comparação, utilizou-se a usinagem sem fluido de corte, com

mínima e máxima vazão, avaliando a influência da velocidade de corte na rugosidade R_a da peça e na vida da ferramenta de corte.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para a realização dos ensaios foi utilizado Centro de Usinagem CNC marca Eurostec, de 15kW de potência e rotação de 10.000 rpm. O material usinado foi o aço inoxidável duplex UNS S32205, e a composição química conforme Tab. 1, com dureza média de 250 HB, diâmetro de 160 mm e comprimento de 300 mm, fixada por um dispositivo rígido para evitar vibrações. Durante os ensaios utilizou-se a fresa de topo código CoroMill® R390-025A25-11M, diâmetro 25mm, ângulo de posição $\kappa_r = 90^\circ$ graus, haste cilíndrica, passo médio com 3 insertos e fixação mecânica por pinça. Foram utilizados insertos de metal duro revestidos pelo processo de deposição física de vapor (PVD), com dupla camada de nitreto de titânio (TiN) e nitreto de titânio alumínio (TiAlN) código CoroMill®R390-11T308M-MM GC2030, conforme fabricante Sandvik-Coromant.

Tabela 1. Composição química do aço inoxidável duplex UNS S32205 (IMOA, 2014)

C	Si	Mn	P	S	N	Al	Cr	Mo	Ni	Cu	W	Co
0,013	0,47	1,22	0,019	0,010	0,19	0,008	22,24	3,14	5,62	0,19	0,02	0,05

Os ensaios foram realizados utilizando as velocidades de corte (v_c) de 60 e 70 m/min, o avanço por dente (f_z) de 0,10 mm/dente, a profundidade de corte (a_p) de 1,00 mm e largura de corte (a_e) de 17,50 mm. Esta pequena variação na velocidade de corte foi a que apresentou um melhor desempenho durante o fresamento, em função da baixa usinabilidade do material.

As condições de usinagem utilizadas nos experimentos foram sem fluido, com fluido na mínima vazão (150 ml/min) e com fluido na máxima vazão (12 l/min), utilizando o óleo sintético Quimatic MEII com 5% de concentração.

Ao fim de cada passe de usinagem, os insertos foram retirados do suporte e o desgaste do flanco de ferramenta foi medido utilizando o microscópio óptico de marca Opton.

A rugosidade R_a foi medida em três pontos, nos dois pontos extremos e no centro da peça usinada, utilizando um rugosímetro portátil Mitutoyo SJ-201 M/P. O procedimento foi realizado, a cada passe, até atingir o critério de fim de vida com o desgaste de flanco máximo de 0,30 mm para todas as condições de corte. O sentido de corte utilizado nos ensaios foi concordante.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A evolução do desgaste no flanco da ferramenta para as três condições ensaiadas nas velocidades de 60 e 70 m/min podem ser observados, conforme Fig. 1.

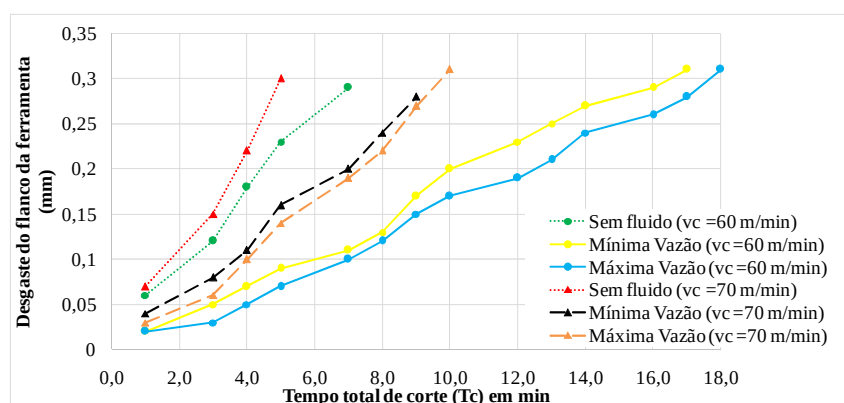


Figura 1. Evolução do desgaste da ferramenta nas três condições ensaiadas, para $v_c = 60$ e 70 m/min (Autoria própria)

A condição de máxima vazão, proporcionou maior tempo de corte e vida da ferramenta para a velocidade de 60 m/min, com pequena diferença em relação à condição de mínima vazão de fluido. Quando aumenta-se a velocidade de corte para 70 m/min, há um aumento da temperatura no inserto, favorecendo o surgimento de trincas e micro trincas devido à flutuação cíclica de origem térmica e mecânica. As trincas e micro trincas de origem térmicas são causadas, no fresamento pela utilização do fluido de corte, provocada pela variação dos tempos ativos e inativos na interface cavaco-inserto. As trincas e micro trincas mecânicas são provocadas pelo corte intermitente, inerente do processo, quando a aresta entra em contato com a peça a cada ciclo de usinagem. Quando as trincas térmicas, perpendicular,

encontram as mecânicas, paralela à aresta de corte, ocorre o rompimento de partes do inserto contribuindo para o aumento do desgaste e reduzindo a vida da ferramenta. As trincas de origem térmica e mecânica são observadas, conforme Figs. 2 (a, b, c e d).

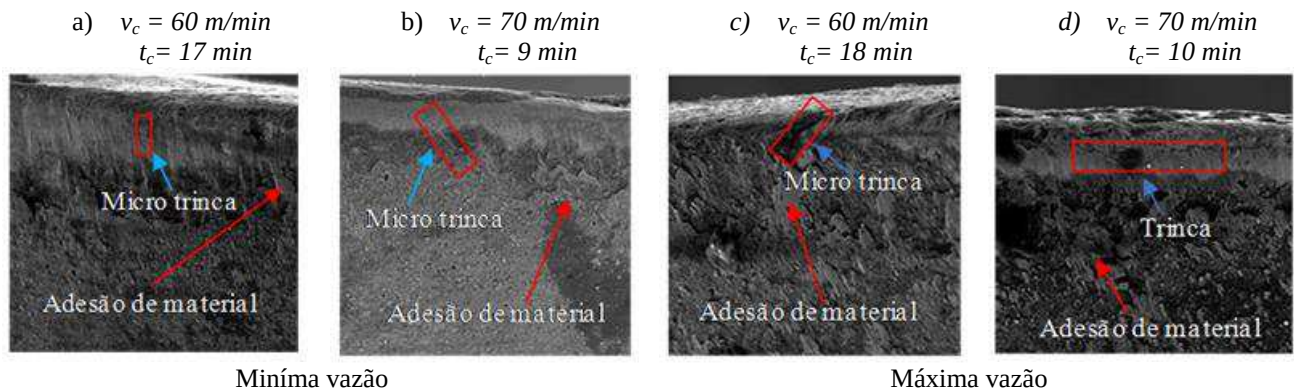


Figura 2. Desgaste da ferramenta de corte nas condições de mínima e máxima vazão (Autoria própria)

As ferramentas ensaiadas sem fluido de corte apresentaram desgastes prematuros. Em função da baixa condutividade térmica do material, menor é o calor absorvido pela interface cavaco-peça permitindo aumento de energia acumulada nos inserts, promovendo acréscimo de temperatura na região de corte e que contribui para o desgaste acelerado da ferramenta. Percebe-se que a inclinação das curvas foi mais acentuada quando comparado com as condições de mínima e máxima vazão. As Figs. 3 (a e b), mostram as ferramentas desgastadas ao atingir o critério de fim da ferramenta para as velocidades de 60 e 70 m/min respectivamente. Nota-se também que na Fig. 3a, há existência de material aderido na ferramenta, e na Fig. 3b, além da adesão de material, há lascamento no inserto.

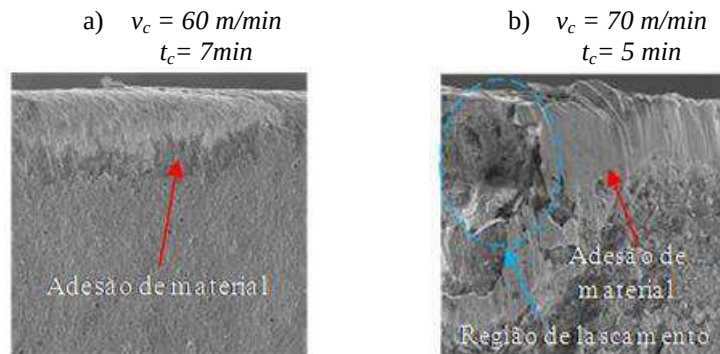


Figura 3. Desgaste da ferramenta de corte na condição sem fluido de corte (Autoria própria)

A evolução da rugosidade para as três condições ensaiadas nas velocidades de 60 e 70 m/min, durante o fresamento de topo do aço inoxidável duplex UNS S32205 podem ser observados, conforme Fig. 4.

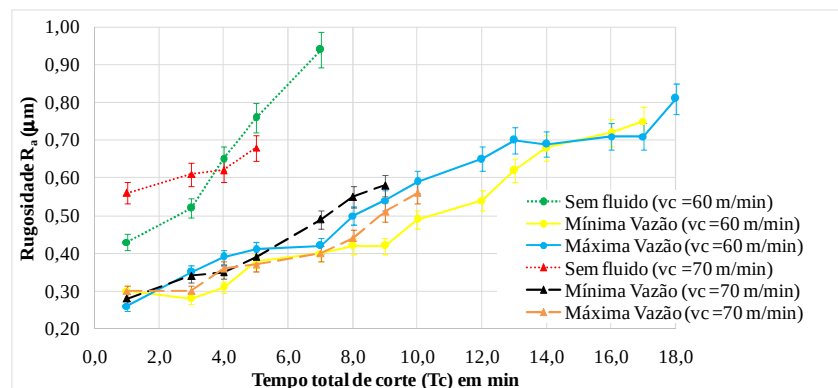


Figura 4. Evolução da rugosidade nas três condições de corte ensaiadas para $v_c = 60$ e 70 m/min (Autoria própria)

Para todas as condições de usinagem e velocidades ensaiadas, o comportamento da rugosidade foi crescente ao longo do tempo até atingirem o critério de fim da vida da ferramenta ($VB_{máx} = 0,3$ mm). A rugosidade média (R_a) medida durante os ensaios variaram de forma aleatória, alternando entre 0,25 e 0,95 μm . Os maiores valores de rugosidade foram observados na condição sem fluido de corte, para ambas velocidades. Isso ocorreu, devido à baixa usinabilidade do aço inoxidável duplex UNS S32205, em função do desgaste acelerado da aresta de corte.

Durante os ensaios, ao utilizar o fluido de corte, houve um aumento no tempo de vida da ferramenta e para a condição de mínima vazão, na velocidade de 60 m/min, foi o que apresentou o melhor comportamento dos valores de rugosidade obtidos ao longo de todo o experimento. Ao atingir o $VB_{máx}$ de 0,3 mm, para todas as condições ensaiadas, pode-se verificar que para a velocidade de 70 m/min, os valores de rugosidade foram menores, porém o tempo de vida da ferramenta foi 50% menor em relação à velocidade de corte de 60 m/min na mínima vazão.

É possível notar que a condição de mínima vazão de fluido de corte se comportou de forma semelhante, em relação à máxima vazão, tanto para a vida da ferramenta quanto para a rugosidade, portanto, em se tratando de condições de usinagem por fresamento, a estratégia de trabalhar com a mínima vazão passa ser a melhor opção, pois cada vez mais as empresas necessitam de tornar os seus processos comprometidos com o seu desempenho ambiental, além de melhorar a qualidade de vida de seus operadores e reduzirem os seus custos operacionais.

4. CONCLUSÕES

Baseado nos resultados apresentados e discutidos, no presente trabalho, pode-se concluir, a respeito da quantidade de fluido e da velocidade de corte no fresamento de topo do aço inoxidável duplex UNS S32205, que:

- A presença de fluido de corte influenciou no aumento da vida da ferramenta. Os maiores tempos de usinagem observado foram para a velocidade de 60 m/min, na condição de mínima e máxima vazão.
- Para atender o menor custo de produção, a melhor opção é trabalhar com a mínima vazão de fluido utilizando a velocidade de 60 m/min. Nessa condição, a vida da ferramenta atingiu 17 minutos.
- A presença de fluido de corte influenciou na redução dos valores da rugosidade. Os menores valores observados de R_a foi para a velocidade de corte de 60 m/min, na mínima vazão durante todo o experimento.
- Ao atingir o $VB_{máx}$ de 0,3 mm em todas as condições de corte estudadas, a velocidade de 70 m/min, na mínima e máxima vazão, apresentaram o menor valor de rugosidade, aproximadamente igual a 0,58 μm , porém a vida da ferramenta é 50% menor quando comparada com a velocidade de 60 m/min nas mesmas condições de usinagem.
- Os valores da vida da ferramenta e da rugosidade R_a , na condição de mínima e máxima vazão são próximos, independentemente das velocidades utilizadas, logo, a estratégia de se trabalhar com a mínima vazão passa ser interessante, tendo em vista a frequente preocupação com aspectos ambientais, saúde dos trabalhadores e custos da operação.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Grupo de Estudos em Qualidade e Produtividade (GEQProd) da Universidade Federal de Itajubá, campus de Itabira, ao Núcleo de Otimização da Manufatura e de Tecnologia da Inovação (NOMATI) da Universidade Federal de Itajubá, campus de Itajubá, CNPq, Fapemig e à Capes pelo apoio para a realização deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Ahmed, Y.S., Paiva, J.M., Covelli, D. e Veldhuis, S.C., 2017. "Investigation of Coated Cutting Tool Performance during Machining of Super Duplex Stainless Steels through 3D Wear Evaluations". *Coatings*, Vol. 7 (8), p. 1-15.
- De Oliveira Junior, C.A., Diniz, A.E. e Bertazzoli, R., 2014. "Correlating tool wear, surface roughness and corrosion resistance in the turning process of super duplex stainless steel". *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, Vol. 36 (4), p. 775-785.
- Dhananchezian, A., Priyan, M.R., Rajashekar, G. e Narayanan, S.S., 2018. "Study the Effect of Cryogenic Cooling on Machinability Characteristics during Turning Duplex Stainless Steel 2205". *Materials Today: Proceedings*, Vol. 5 (5), p. 12062–12070.
- Gamarra, J.R. e Diniz, A.E., 2018. "Taper turning of super duplex stainless steel: tool life, tool wear and workpiece surface roughness". *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, Vol. 40 (1), p. 1-13.
- IMOA, 2014. "International Molybdenum Association". <<https://www.imoa.info/molybdenum-media-centre/downloads>>.
- Koyee, R.D.; Heisel, U.; Eisseler, R. e Schmauder, S., 2014. "Modeling and optimization of turning duplex stainless steels". *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. 16, p. 451-467.
- Krolczyk, G.M., 2014. "Surface Morphology of Duplex Stainless Steel (DSS) in Dry Turning Process". *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 693, p. 436-441.

- Nomani, J., Pramanik, A., Hilditch, T. e Littlefair, G., 2017. "Stagnation zone during the turning of Duplex SAF 2205 stainless steels alloy". *Materials and Manufacturing Processes*, Vol. 32, p. 1486–1489.
- Policena, M.R., Devitte, C., Fronza, G., Garcia, R.F., e Souza, A.J., 2018. "Surface Roughness Analysis in Finishing End-Milling of Duplex Stainless Steel UNS S32205". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 98, p. 1617-1625.
- Rajaguru, J. e Arunachalam, N., 2017. "Coated tool Performance in Dry Turning of Super Duplex Stainless Steel". *Procedia Manufacturing*, Vol. 10, p. 601–611.
- Selvaraj, D.P., 2017. "Optimization of cutting force of duplex stainless steel in dry milling operation", *Materials Today: Proceedings*, Vol. 4 (10), p. 601-611.
- Selvaraj, D.P., 2018. "optimization of surface roughness of duplex stainless steel in dry turning operation using Taguchi technique", *Materials Physics and Mechanics*, Vol. 40, p. 63-70.
- Selvaraj, D.P., Chandramohan, P. e Mohanraj, M., 2014. "Optimization of surface roughness, cutting force and tool wear of nitrogen alloyed duplex stainless steel in a dry turning process using Taguchi method". *Measurement*, Vol. 49 (1), p. 205-215.
- Sharma, A.K., Tiwari, A.K. e Dixit, A.R., 2016. "Effects of Minimum Quantity Lubrication (MQL) in machining processes using conventional and nanofluid based cutting fluids: A comprehensive review". *Journal of Cleaner Production*, Vol. 127, p. 1–18.
- Zhang, L., Zhong, Z.Q., Qiu, L.C., Shi, H.D., Layyous, A. e Liu, S.P., 2019. "Coated cemented carbide tool life extension accompanied by comb cracks: The milling case of 316L stainless steel". *Wear*, Vol. (418-419), p. 133-139.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

INFLUENCE OF THE QUANTITY CUTTING FLUID IN THE END MILLING OF DUPLEX STAINLESS STEEL UNS S32205

Carlos Henrique de Oliveira

Tarcísio Gonçalves de Brito

Emerson José de Paiva

IEI-UNIFEI-Universidade Federal de Itajubá. Campus Avançado de Itabira. Rua Irmã Ivone Drummond, nº 200. CEP:35903-087. Itabira-MG.

e-mails carlos.henrique@unifei.edu.br; tgbrito@unifei.edu.br; emersonpaiva@unifei.edu.br.

Sandra Miranda Neves

João Roberto Ferreira

IEPG-UNIFEI-Universidade Federal de Itajubá. Av. BPS. 1303 C.P 50. 37500-903 Itajubá-MG.

e-mails sandraneves@unifei.edu.br; jorofe@unifei.edu.br.

Abstract. The efficiency of the use of cutting fluids in the machining processes is highly questioned by the literature, due to the contribution to the increase of pollutants, more severe environmental legislations with industrial discards, problems related to human health and operational costs. The utilization of a minimum quantity of fluid is an alternative technique to be applied in some machining processes. The use of the minimum cut oil flow in the machined region can minimize roughness and wear of the tool. In this work, three alternatives were studied, without cutting fluid, with fluid in the minimum (150 ml/min) and maximum flow (12 l/min), in end milling of duplex stainless steel UNS S32205, with the following cutting parameters: cutting speed (60 and 70 m/min) , feed per tooth (0.10 mm/tooth), depth of cut (1.00 mm) and cutting width (17.5 mm). The conditions of minimum and maximum flow, for the speed of 60 m/min, presented the longest tool life. The lowest surface roughness values were observed for the cutting speed of 60 m/min; and for VB_{max} of 0.3 mm, for the cutting speed of 70 m/min, the roughness was 0.56 μm and cut-off time of 10 min in the maximum flow condition.

Keywords: Duplex Stainless Steel UNS S32205. End Milling. Quantity of Fluid. Tool Life. Surface Roughness R_a .

RESPONSIBILITY NOTICE