

ESTUDO SOBRE A USINABILIDADE DO AÇO INOXIDÁVEL SUPER-MARTENSÍTICO UTILIZANDO DIFERENTES FLUIDOS DE CORTE

Fernando Júnio Duarte

Augusto Moura Martins

Juan Carlos Campos Rubio

Alexandre Mendes Abrão

Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte MG, 30270-901, Brasil.

fernandojunioduarte@ufmg.br; augusto.mmartins2@gmail.com; juan@ufmg.br; abrao@demec.ufmg.br

Resumo. No presente estudo foi feita uma investigação a respeito do efeito dos parâmetros de corte sobre o comportamento das componentes da força de usinagem e rugosidade durante o torneamento do aço inoxidável supermartensítico da classe CA6NM utilizando ferramentas de metal duro. Foram realizados testes de torneamento nos quais as influências de velocidade de corte, avanço e método lubri-refrigerante (jorro convencional, ar refrigerado por meio de tubo de vórtice e corte a seco) sobre as componentes da força de torneamento (força de avanço, força passiva e força de corte) e o acabamento da superfície usinada (desvio médio aritmético R_a) foram investigadas. Os experimentos foram conduzidos com base em um planejamento fatorial completo e para validação da pesquisa foram utilizados análise de variância (ANOVA) e teste de comparações múltiplas (Tukey). Os resultados revelaram que o avanço é o principal parâmetro que afeta as componentes da força de usinagem e a rugosidade superficial seguido pela velocidade de corte e pelo fluido de corte, nesta ordem.

Palavras chave: Torneamento. Super 13Cr. Força de corte. Rugosidade superficial. Aço inoxidável supermartensítico.

1. INTRODUÇÃO

Em geral, a produtividade das operações de usinagem é inerentemente associada à alta taxa de remoção de material, isto é, elevados avanços, velocidades de corte, e profundidades de usinagem, os quais geram uma grande quantidade de calor e causam o aumento da temperatura na zona de corte. Consequentemente, fatores como vida da ferramenta, tolerância dimensional, acabamento, forças de usinagem e consumo de energia associado ao processo são afetados significativamente (Singh e Sharma, 2017).

No torneamento de metais, uma grande parte da energia consumida é convertida em calor na zona de corte devido ao atrito entre a ferramenta e a peça, à deformação plástica do material da peça, ao cisalhamento do cavaco e ao atrito entre o cavaco e a ferramenta (Mirkoohi, *et al.* 2019). As altas temperaturas geradas nas zonas de deformação têm efeito significativo sobre o mecanismo de formação de cavacos e, além disso, o gradiente de temperatura induzido pelo processo de corte pode resultar em tensão residual de tração de maior intensidade, a qual favorece a nucleação e propagação de trincas, levando a uma redução da vida sob fadiga e resistência ao desgaste e à corrosão do componente usinado (Nasr, 2015). Assim, o uso de refrigeração e lubrificação da peça e também da ferramenta se tornam um aspecto importante a ser estudado em qualquer operação de usinagem. Ademais, dados sobre as forças de corte são essenciais para a seleção da máquina-ferramenta adequada, com intuito de preservar seus componentes e evitar distorções excessivas na peça.

Devido às propriedades de alta resistência mecânica e boa resistência à corrosão na presença de dióxido de carbono (CO_2), os aços inoxidáveis supermartensíticos (AISM) geralmente são utilizados como tubos e acessórios pela indústria petrolífera em ambientes operacionais de óleo/gás sob alta temperatura e pressão (Lei *et al.* 2016). No Brasil, com o surgimento de novas reservas de petróleo nas camadas do pré-sal, a busca por estes aços têm aumentado consideravelmente, sobretudo pelo baixo custo quando comparado aos aços Super Duplex para uma mesma aplicação.

Em razão da característica de super temperabilidade dos AISMs, uma microestrutura martensítica pode ser obtida partindo do campo austenítico, em qualquer taxa de resfriamento de engenharia. Além disso, o revenido subsequente acima da temperatura de início da transformação austenítica no aquecimento (A_{c1}) resulta na transformação reversa da martensita em austenita, que é metaestável e pode ser parcialmente retida à temperatura ambiente (Ma, *et al.* 2012). A combinação de resistência e ductilidade dos AISMs é associada à estrutura composta por austenita reversa distribuída ao longo dos limites inter-ripas de martensita e à capacidade de transformação de fase da austenita reversa metaestável para martensita durante ou após a deformação plástica (Wang, *et al.* 2013).

As propriedades de alta resistência mecânica e tenacidade durante a deformação plástica dos AISMs os tornam materiais de difícil usinagem, podendo ocasionar o desgaste acelerado da ferramenta de corte e a baixa qualidade superficial da peça. Ademais, a tenacidade dos AISMs pode favorecer a formação de cavacos longos, podendo expor o

operador a situações de perigo e que, ao aderir à peça, podem prejudicar seu acabamento. Além disso, nessa situação o aumento da força de usinagem e da temperatura de corte é favorecido, levando a uma redução na vida da ferramenta de corte. Assim, para obter uma boa qualidade de usinagem do AISM, é necessário controlar os parâmetros de corte, além da condição de lubri-refrigeração. Diante desse cenário, é de extrema importância entender os efeitos da variação dos parâmetros de corte sobre o torneamento do AISM. Devido à escassez de informações sobre a usinabilidade dos AISM, este trabalho tem como objetivo contribuir com informações importantes para a indústria de manufatura e petrolífera sobre os efeitos da variação da velocidade de corte, do avanço e da condição de lubri-refrigeração sobre as forças de usinagem (força de corte, força de avanço e força passiva) e a rugosidade superficial (desvio médio aritmético Ra) no torneamento do AISM.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O material adotado como corpo de prova neste trabalho foi o aço inoxidável supermartensítico (AISM) da classe CA6NM, normalmente encontrado no mercado sob a denominação Super 13Cr. Foram utilizados tubos sem costura com diâmetro externo de 165 mm, diâmetro interno de 100 mm e comprimento de 155 mm. O material foi temperado e revenido, resultando em uma dureza média de 275HV. Sua composição química pode ser observada na Tab. 1.

Tabela 1. Composição química (% em massa) do aço AISM

C	Cr	Mo	Ni	Mn	P	S	N	Si	Cu	Ti	Fe
0,014	11,75	1,93	5,55	0,49	0,02	0,004	0,02	0,26	0,11	0,14	bal.

A microestrutura do AISM é mostrada na Fig. 1, onde é possível observar a presença de martensita nova (M), martensita revenida (M') e partículas não metálicas do tipo Ti (C, N). O reagente Vilella foi utilizado para revelar homogeneamente as estruturas martensíticas.



Figura 1. Microestrutura do aço inoxidável supermartensítico

O desenvolvimento do trabalho foi baseado em ensaios de torneamento externo em um torno CNC com potência de 5,5 kW e rotação máxima de 3500 rpm. Foram utilizados insertos de metal duro sem revestimento Mitsubishi Carbide UTi20T (classe ISO M25-M40) com geometria ISO SPMN120308 montados em um porta-ferramenta Iscar CSDPN 2020K-12CEA.

As condições de corte estão descritas na Tab. 2. Para cada condição de lubri-refrigeração foram variados a velocidade de corte e o avanço. Foi realizada uma réplica de cada experimento, totalizando trinta e seis testes. A sequência dos experimentos foi aleatorizada por meio do software Minitab 18. A montagem experimental para os testes de torneamento pode ser observada na Figura 2, onde F_a , F_p e F_c representam as forças de avanço, passiva e de corte, respectivamente. A profundidade de usinagem foi mantida constante ($a_p=1,0$ mm) em todos os testes.

A magnitude das forças durante as condições de usinagem em estudo foram obtidas por meio de um dinamômetro Kistler 9272 auxiliado por um amplificador de sinal Kistler 5073. Após a realização de cada teste, a rugosidade superficial do corpo de prova foi avaliada por meio do rugosímetro Taylor-Robson modelo Surtronic 25, empregando um comprimento de amostragem de 0,8 mm para o avanço de 0,1 mm/rev e de 2,5 mm para o avanço de 0,3 mm/rev conforme norma ISO 4288 (1996). Para cada teste, foram realizadas três medições equidistantes em aproximadamente 120° para posterior cálculo da média. O parâmetro estudado foi o desvio médio aritmético (Ra).

Com intuito de validar os resultados, foram feitas análises estatísticas de variância (ANOVA) e a diferença entre as médias foi comparada por pares pelo teste Tukey, ambos com nível de significância de 5%.

Tabela 2. Matriz experimental

Condição de lubri-refrigeração	Parâmetros de corte	
	Velocidade de corte (m/min)	Avanço (mm/rev)
Emulsão	80	0,1
Ar refrigerado	120	0,3
Seco	160	

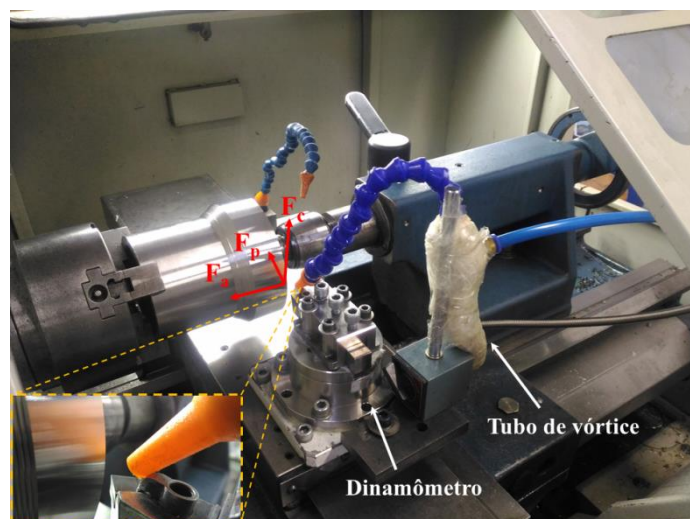


Figura 2. Montagem experimental.

Duas condições de lubri-refrigeração foram testadas, além da condição a seco: jorro e ar comprimido refrigerado. Para a condição de torneamento utilizando o método por jorro, foi empregado o fluido de corte sintético Petronas MECAFLUID S 3000 com concentração de 5% e sua vazão foi mantida em 5,2 L/min. A distância de aplicação entre o bocal e a ferramenta foi mantida em 10 mm conforme ilustra a Fig. 2. Já para o método de refrigeração por ar comprimido refrigerado, foi utilizado um sistema com tubo de vórtice. A Figura 3 ilustra esquematicamente a configuração do sistema de refrigeração por ar comprimido refrigerado, onde são mostrados os principais equipamentos utilizados em sua montagem.

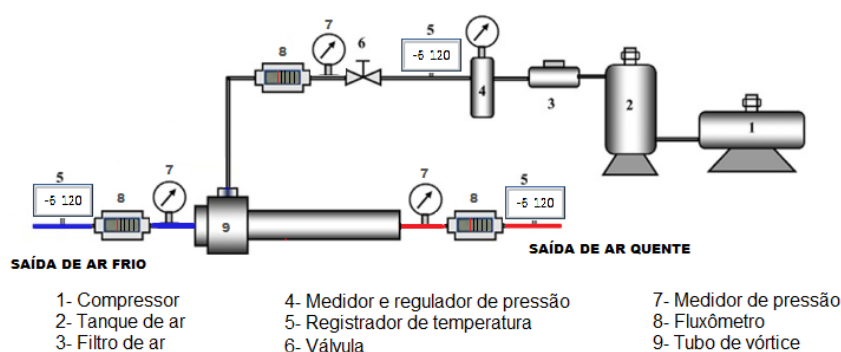


Figura 3. Configuração experimental do sistema de refrigeração por ar comprimido refrigerado

Para alimentar o sistema de refrigeração por ar comprimido refrigerado foi utilizado o compressor de ar (1) Chicago Pneumatic Red Power, modelo CPB 30-8 com capacidade de 3,0 m³/min e pressão máxima de 8 bar. O ar comprimido é armazenado no tanque (2) e depois de passar pelo filtro (3) sua pressão é verificada e regulada por meio do medidor e regulador de pressão (4). A válvula (6) é acionada no início e final do teste. O ar comprimido é admitido tangencialmente no tubo de vórtice (9) em alta velocidade e um fluxo turbulento é gerado devido à estrutura do tubo. Após a separação do fluxo e da energia, o ar mais frio sai do confinamento através de um orifício circular central localizado em um dos lados da extremidade do tubo e o ar quente sai na outra extremidade próxima à área periférica. Para a medição das grandezas físicas, na entrada e na saída do tubo de vórtice (9) foram utilizados os seguintes

equipamentos: manômetro WEISS (7) com faixa de medição de 0 a 11 bar, fluxômetro de área variável LAKE (8), registrador de temperatura 88598 AZ tipo K com 4 canais (5) e termopares do tipo K.

O tubo de vórtice utilizado no sistema de refrigeração foi revestido com uma manta fibra de vidro com o intuito de diminuir as perdas térmicas para o ambiente. A temperatura do ar comprimido na entrada do tubo de vórtice foi de 20,8°C e na saída de ar frio a temperatura se manteve em - 6,4 °C enquanto no lado quente foi de 51,2°C. A pressão no sistema foi mantida constante em 5,5 bar, a temperatura ambiente foi de 23,4°C e a vazão na saída de ar frio foi de 1,57 m³/min.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 4 mostra os resultados de ANOVA para força de corte, força de avanço, força passiva e rugosidade. Essa análise foi realizada para um nível de significância de 5%. A proporção de cada parâmetro do modelo foi calculada, indicando a contribuição (Contr.) e o grau de influência sobre as variáveis de saída. Os resultados significativos caracterizados pelo valor $p \leq 0,05$ foram destacados. Observa-se que o principal parâmetro de corte que influenciou tanto as componentes da força de torneamento quanto a rugosidade foi o avanço (f), seguido pela velocidade de corte (v_c) e em menor magnitude a condição de lubri-refrigeração.

Tabela 4. Resultado da análise de variância

Parâmetro/interação	Variáveis de saída							
	Força de corte (F_c)		Força de avanço (F_a)		Força passiva (F_p)		Rugosidade (R_a)	
	Valor-P	Contr.	Valor-P	Contr.	Valor-P	Contr.	Valor-P	Contr.
f	0,000	98,58%	0,000	79,96%	0,000	78,26%	0,000	94,32%
Fluido de corte	0,680	0,02%	0,043	0,70%	0,115	0,80%	0,571	0,05%
v_c	0,000	0,67%	0,000	15,76%	0,000	13,97%	0,016	0,38%
v_c * Fluido de corte	0,352	0,09%	0,006	1,30%	0,571	0,19%	0,006	0,68%
v_c * f	0,043	0,15%	0,915	0,09%	0,008	2,11%	0,558	0,05%
Fluido de corte * f	0,223	0,06%	0,507	0,13%	0,306	0,85%	0,897	0,01%
v_c * Fluido de corte * f	0,556	0,06%	0,406	0,39%	0,273	0,91%	0,018	0,56%
Erro		0,36%		1,68%		2,92%		3,96%
Total		100,00%		100,00%		100,00%		100,00%

3. 1 Componentes da força de torneamento

A força de corte mostrou-se ser a principal componente que afeta a força de torneamento (força resultante), sendo cerca de duas vezes maior do que as forças de avanço e passiva. De acordo com Chen (2000), em operações de desbaste onde normalmente a profundidade de corte é maior do que o raio de ponta da ferramenta, geralmente a força de corte é maior do que as demais componentes. Já para o torneamento de acabamento de materiais com elevada dureza, onde a profundidade de corte é menor do que o raio de ponta da ferramenta e normalmente são aplicados baixos avanços, a força passiva em geral é considerada a componente mais importante. Nessa situação o efeito do atrito pode prevalecer e o fluxo lateral de cavaco pode ser observado (Lalwani, *et al.* 2008).

Por meio da Fig. 5 é possível observar os efeitos dos principais parâmetros que afetam F_c . Vale ressaltar que os efeitos da interação entre os parâmetros não estão representados no gráfico. O avanço foi o principal fator que afetou a força de corte (contribuição de 98,58%). Foi relatado em trabalhos anteriores que a profundidade de corte e o avanço são os principais fatores que influenciam a força de corte, sobretudo porque um incremento nesses parâmetros levam a um aumento na área da seção de corte (Qian e Hossan 2007; Meddour, *et al.* 2015). É possível perceber que a força de corte aumenta com o aumento do avanço e em geral diminui com o aumento da velocidade de corte. Sobretudo, a menor força de corte é obtida com o menor avanço (0,1mm/rev) associado a maiores velocidades de corte (120 m/min e 160 m/min). Por exemplo, a condição de torneamento utilizando os parâmetros $f = 0,1$ mm/rev e $v_c = 160$ m/min leva a redução de 60,49 % na força de corte em relação à condição de torneamento utilizando $f = 0,3$ mm/rev e $v_c = 80$ m/min, independente da condição de lubri-refrigeração utilizada. Um incremento no avanço proporciona o aumento da área da seção de corte, tendo como consequência o aumento da força de corte. Já o aumento da velocidade de corte aumenta a taxa na qual a energia é consumida por meio da deformação plástica e do atrito e, portanto, aumenta a taxa de calor gerado na zona de corte, podendo reduzir a resistência ao cisalhamento do material ocasionando uma menor força de corte. Contudo, é importante ressaltar que temperaturas elevadas podem causar danos à ferramenta de corte, podendo reduzir a sua vida.

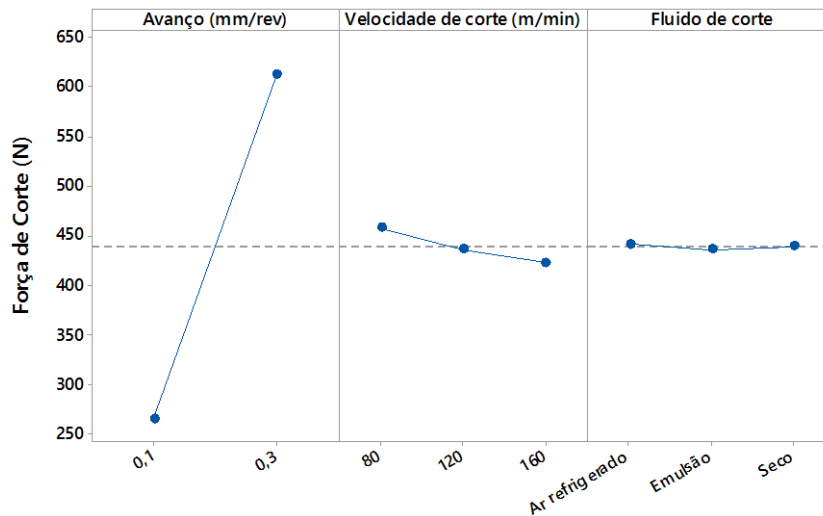


Figura 5. Efeitos dos principais parâmetros na magnitude da força de corte.

De modo geral, a força de avanço atua de forma semelhante à força de corte onde é observado que o avanço é claramente o principal fator que influencia a força de avanço. Um incremento no avanço de 0,1 mm/rev para 0,3 mm/rev causou um aumento de 31,88 % na força de avanço. No entanto, vale ressaltar que o fluido de corte interferiu de forma significativa na força de avanço. Por meio da Fig. 6 é possível observar que o método de lubri-refrigeração por jorro (emulsão) atua de forma a reduzir a força de avanço (redução de 3,97%) em relação à condição de corte a seco. Esse fato pode ser explicado pelo poder de lubrificação da emulsão que proporciona uma redução no atrito entre a ferramenta e a peça e, portanto, reduz o desgaste por abrasão da ferramenta de corte tendo como consequência a redução da força de avanço. Ademais, a velocidade de corte atuou de forma mais efetiva na força de avanço (contribuição de 15,76%) em relação à força de corte (contribuição de 0,67%). A utilização da velocidade de corte de 160 m/min representa uma redução de 5,75% e 17,93% em relação à velocidade de corte de 120 m/min e 80 m/min, respectivamente. Além disso, associando velocidade de corte maior (160 m/min) e método de lubri-refrigeração por jorro tem como causa o decréscimo de 21,50% na força de avanço em relação à condição de velocidade de corte menor (80 m/min) e corte a seco, para um mesmo avanço de 0,1 mm/rev. Portanto, menores forças de avanço são atingidas utilizando avanço menor, velocidade de corte maior e condição de lubri-refrigeração utilizando o método por jorro (emulsão).

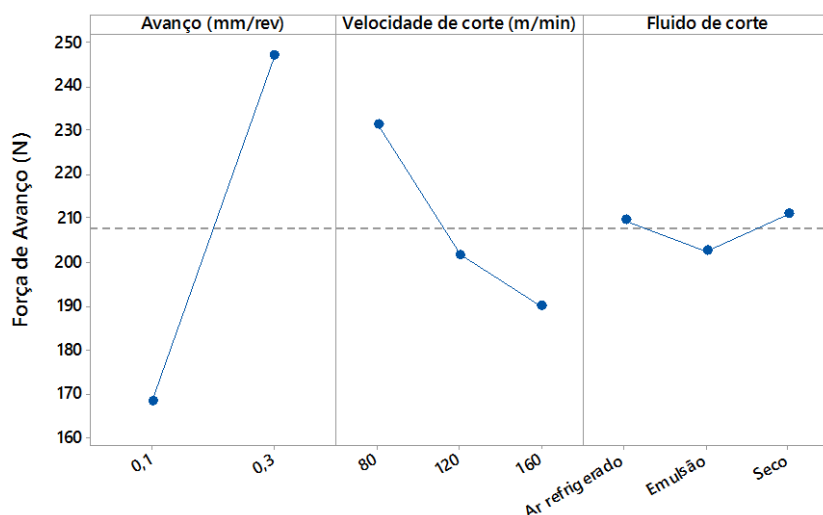


Figura 6. Efeitos dos principais parâmetros na magnitude da força de avanço.

Por meio da Tabela 4 é possível observar que a velocidade de corte (contribuição de 13,97%), o avanço (contribuição de 78,26%) e sua interação (contribuição de 2,11%) influenciaram estatisticamente a força passiva. Resultado semelhante foi encontrado para a força passiva em relação à força de corte, contudo, na força passiva a

velocidade de corte atuou de forma mais significativa. Conforme ilustra a Fig. 7, o fato da velocidade de corte menor (80 m/min) associada a um avanço maior (0,3 mm/rev) levar a um valor de força passiva maior (45,70%) no torneamento do aço inoxidável supermartensítico em relação à condição de corte utilizando velocidade de corte de 160 m/min e avanço de 0,1 mm/rev evidencia a grande influência da temperatura de corte nas componentes da força de torneamento. O aumento da temperatura de corte ocasionado principalmente pelo aumento da velocidade de corte pode levar ao amaciamento térmico da peça, diminuindo as forças necessárias para a remoção de cavacos. Por outro lado, o calor gerado na interface entre ferramenta e peça pode favorecer os mecanismos de desgaste da ferramenta de corte ativados termicamente (Sartori, *et al.* 2017). Sendo assim, torna-se importante o uso de fluidos de corte para minimizar os efeitos causados pela alta temperatura associada ao processo de corte de metais, favorecendo a extensão da vida da ferramenta de corte.

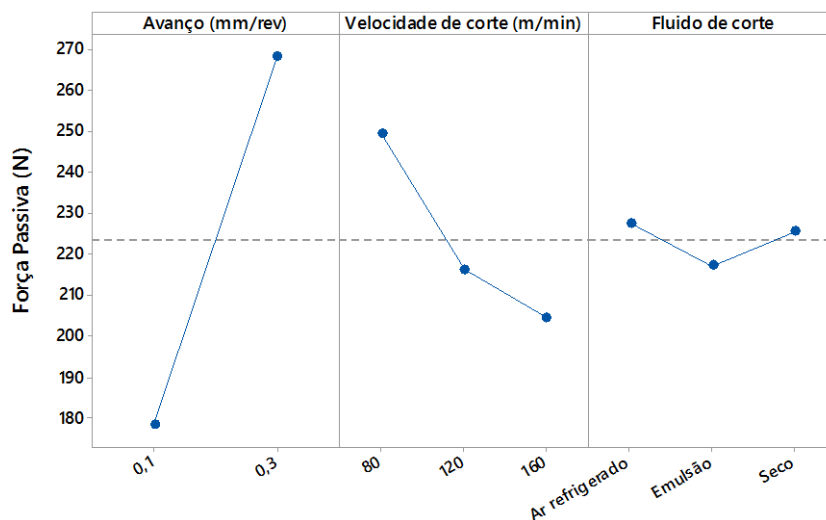


Figura 7. Efeitos dos principais parâmetros na magnitude da força passiva.

3.2 Rugosidade da superfície usinada

O avanço (contribuição de 94,32%) foi o principal parâmetro que afetou a rugosidade superficial, seguido pela interação entre fluido de corte e velocidade de corte (contribuição de 0,68%), interação entre avanço, fluido de corte e velocidade de corte (contribuição de 0,56%) e velocidade de corte (contribuição de 0,38%), respectivamente. Na Figura 8 é mostrado o efeito dos principais parâmetros sobre a rugosidade superficial.

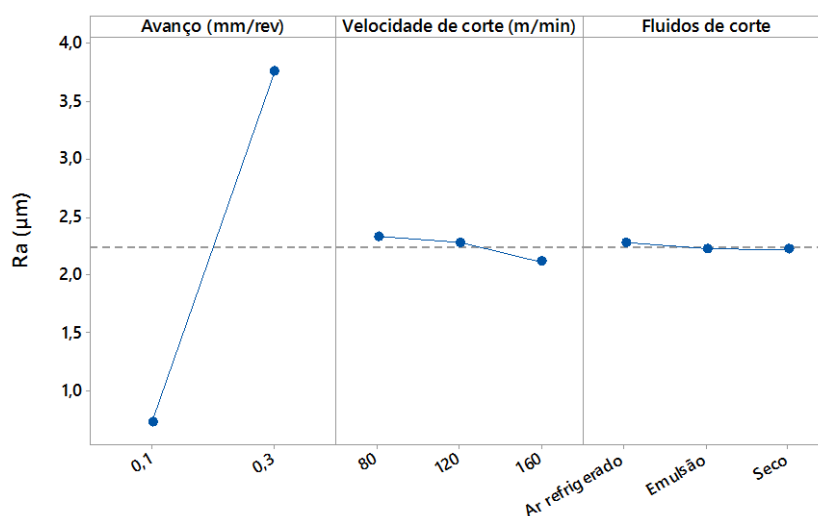


Figura 8. Efeitos dos principais parâmetros na magnitude do desvio médio aritmético (Ra).

Com o incremento no avanço de 0,1 mm/rev a 0,3 mm/rev o desvio médio aritmético tem seu valor elevado em 81,14%. Conforme Benga e Abrão (2003), a explicação para esse fenômeno é que em avanço mais baixo, a distância entre os picos e os vales na superfície usinada é menor, resultando em melhor rugosidade superficial. Por outro lado, o

aumento na velocidade de corte melhora o acabamento superficial, pois em baixas velocidades de corte a geração de calor não é suficiente para reduzir a resistência ao cisalhamento do material da peça e com isso são necessárias forças de corte maiores, afetando negativamente o acabamento superficial. Além disso, baixas velocidades de corte podem favorecer o surgimento de aresta postiça de corte que por sua vez, contribui de forma negativa para o acabamento superficial da peça. Segundo Ahmed, *et al.* (2020), partes da aresta postiça de corte são cisalhadas durante o processo de torneamento e permanecem aderidas à superfície da peça resultando em um acabamento inferior.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta os resultados de uma investigação experimental sobre o efeito da velocidade de corte, avanço e fluido de corte na força de avanço, força passiva, força de corte e rugosidade superficial no torneamento do aço inoxidável supermartensítico usando ferramenta de metal duro e as seguintes conclusões são tiradas:

- a força de corte é a principal componente da força de torneamento, sendo cerca de duas vezes maior do que as forças de avanço e passiva. Os principais fatores que influenciam a força de corte são avanço e velocidade corte, nesta ordem.
- a força passiva teve comportamento similar à força de corte. Contudo, a velocidade de corte atua de forma mais efetiva sobre a força passiva em comparação com a força de corte. O mesmo ocorre para a força de avanço, ressaltando que o fluido de corte nesse caso atua de forma significativa diferenciando assim do comportamento das demais forças.
- a rugosidade da superfície usinada é afetada principalmente pelo avanço, seguido pela velocidade de corte e pelo fluido de corte.
- em geral, o aumento no avanço provoca aumento tanto nas forças de torneamento quanto na rugosidade superficial. Em contrapartida, o acréscimo na velocidade de corte tem como consequência o efeito contrário. Os menores valores de forças de torneamento e rugosidade superficial foram obtidos utilizando avanço de 0,1mm/rev e velocidade de corte de 160 m/min. O método de lubri-refrigeração por jorro promove uma leve redução na força de avanço em relação ao corte a seco (3,97%).

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais pelo apoio à participação neste evento.

6. REFERÊNCIAS

- Ahmed, Y. S., Arif, A. F. M., e Veldhuis, S. C., 2020. "Application of the wavelet transform to acoustic emission signals for built-up edge monitoring in stainless steel machining". *Measurement*, Vol.154, p.107478.
- Benga, G. C., Abrão, A. M., 2003. "Turning of hardened 100Cr6 bearing steel with ceramic and PCBN cutting tools". *Journal of materials processing technology*, Vol. 143, p. 237-241.
- Chen, W., 2000. "Cutting forces and surface finish when machining medium hardness steel using CBN tools". *International journal of machine tools and manufacture*, Vol. 40, n. 3, p. 455-466.
- Incropera, F. P. e De Witt, D. P., 2002. Fundamentos de transferência de calor e de massa. LTC, Rio de Janeiro, 5ª edição.
- Lalwani, D. I., Mehta, N. K., Jain, P. K., 2008. "Experimental investigations of cutting parameters influence on cutting forces and surface roughness in finish hard turning of MDN250 steel". *Journal of materials processing technology*, Vol. 206, n. 1-3, p. 167-179.
- Lei, X., Feng, Y., Zhang, J., Fu, A., Yin, C., Macdonald, D. D., 2016. "Impact of reversed austenite on the pitting corrosion behavior of super 13Cr martensitic stainless steel". *Electrochimica Acta*, Vol.191, p. 640-650.
- Ma, X. P., Wang, L. J., Liu, C. M., Subramanian, S. V., 2012. "Microstructure and properties of 13Cr5Ni1Mo0.025Nb0.09V0.06N super martensitic stainless steel". *Materials Science and Engineering: A*, Vol.539, p. 271-279.
- Machado, Á. R., Coelho, R. T., Abrão, A. M., da Silva, M. B., 2015. Teoria da usinagem dos materiais. Blucher, São Paulo, 3ª edição.
- Meddour, I., Yallese, M. A., Khattabi, R., Elbah, M., Boulanouar, L., 2015. "Investigation and modeling of cutting forces and surface roughness when hard turning of AISI 52100 steel with mixed ceramic tool: cutting conditions optimization". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.77, n.5, p. 1387-1399.
- Mirkoochi, E., Bocchini, P., Liang, S. Y., 2019. "Analytical temperature predictive modeling and non-linear optimization in machining". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 102, n. 5-8, p. 1557-1566.
- Nasr, M. N. A., 2015. "Effects of sequential cuts on residual stresses when orthogonal cutting steel AISI 1045". *Procedia CIRP*, Vol. 31, p. 118-123.
- Qian, L., e Hossan, M. R., 2007. "Effect on cutting force in turning hardened tool steels with cubic boron nitride inserts". *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 191, n. 1-3, p. 274-278.

Sartori, S., Moro, L., Ghiotti, A., Bruschi, S. 2017. "On the tool wear mechanisms in dry and cryogenic turning Additive Manufactured titanium alloys". *Tribology International*, Vol. 105, p. 264-273.

Singh, G. R. e Sharma, V. S., 2017. "Analyzing machining parameters for commercially pure titanium (Grade 2), cooled using minimum quantity lubrication assisted by a Ranque-Hilsch vortex tube". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 88, n. 9–12, p. 2921–2928.

Wang, P., Xiao, N., Lu, S., Li, D., Li, Y., 2013. "Investigation of the mechanical stability of reversed austenite in 13% Cr–4% Ni martensitic stainless steel during the uniaxial tensile test". *Materials Science and Engineering: A*, Vol. 586, p. 292-300.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

STUDY ON THE MACHINABILITY OF SUPERMARTENSITIC STAINLESS STEEL USING DIFFERENT CUTTING FLUIDS

Fernando Júnio Duarte

Augusto Moura Martins

Juan Carlos Campos Rubio

Alexandre Mendes Abrão

Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte MG, 30270-901, Brazil.
fernandojunioduarte@ufmg.br; augusto.mmartins2@gmail.com; juan@ufmg.br; abrao@demec.ufmg.br

Abstract. In the present study, an investigation was conducted regarding the effect of the cutting parameters on the behavior of the components of the resultant force during turning of supermartensitic stainless steel grade CA6NM using plain tungsten carbide inserts. Turning tests were carried out in which the influences of cutting speed, feed rate and lubricant/cooling methods (conventional flood, air cooled by vortex tube and dry cutting) on the components of the turning force (feed rate, thrust force and main cutting force) and machined surface roughness (arithmetic mean deviation R_a), were investigated. The experiments were conducted based on a full factorial design experiment and to validate the research, analysis of variance (ANOVA) and test of multiple comparisons (Tukey) were used. The results indicated that feed rate is the most significant parameter influencing the resultant force and surface roughness followed by the cutting speed and the cutting fluid, respectively.

Keywords: Turning, Super 13Cr, Cutting force, Surface roughness, Supermartensitic stainless steel.

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.