



**XXVIII CREEM**

Congresso Nacional de Estudantes  
de Engenharia Mecânica  
Santa Maria - RS



XXVIII Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica  
09 a 13 de maio de 2022, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil

## ANÁLISE DO AÇO INOXIDÁVEL AISI 410 A PARTIR DE TESTES DE USINABILIDADE PELO MÉTODO HIGH SPEED CUTTING COM REFRIGERAÇÃO CRIOGÊNICA

Eloísa Barichello Hertz, [eloisa.bh@aluno.ifsc.edu.br](mailto:eloisa.bh@aluno.ifsc.edu.br)<sup>1</sup>

Ricardo Perin, [ricardo.p1@aluno.ifsc.edu.br](mailto:ricardo.p1@aluno.ifsc.edu.br)<sup>1</sup>

Fernando Michelin Marques, [fernando.marques@ifsc.edu.br](mailto:fernando.marques@ifsc.edu.br)<sup>1</sup>

Renato Luis Bergamo, [rbergamo@gmail.com](mailto:rbergamo@gmail.com)<sup>1</sup>

Cristiane Benelli, [crissbenelli@gmail.com](mailto:crissbenelli@gmail.com)<sup>1</sup>

Rodrigo Costa, [rodrigo.costa@ifsc.edu.br](mailto:rodrigo.costa@ifsc.edu.br)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Av. Nereu Ramos, 3450 - D, Seminário Chapecó-SC,

<sup>2</sup>Instituto Federal Catarinense (IFC), Av. Frei João, 550, Centro, Luzerna-SC,

**Resumo.** Durante os processos de usinagem de aços inoxidáveis, alterações na região resultante da usinagem podem ser identificadas quando submetidas posteriormente a testes superficiais ou solicitações mecânicas. O presente trabalho analisa o acabamento superficial do aço inoxidável AISI 410 quando submetido à ensaios de usinabilidade em corpos de prova no processo de torneamento externo, utilizando velocidade de corte baseada no método High Speed Cutting (HSC), sendo superior à 1000 m/min e a refrigeração com nitrogênio líquido na interface peça/ferramenta. As condições de avanço utilizadas foram de 0,03 e 0,06 mm/rot, bem como os raios de ponta da ferramenta de 0,4 e 0,8 mm, combinados entre as amostras. Testes de rugosidade superficial possibilitaram verificar o acabamento nas diferentes condições de usinagem. Os resultados indicaram baixos índices de rugosidade para condição refrigerada, utilizando avanço menores e raio de ponta da ferramenta maiores, enquanto mantendo as condições de corte, porém sem refrigeração, os índices aumentaram, demonstrando a influência positiva da utilização da refrigeração para usinagem com altas rotações. O objetivo final do trabalho é alcançado pela identificação das condições de usinagem que menos interferem na rugosidade superficial das peças submetidas aos testes de usinabilidade.

**Palavras chave:** Usinagem. Rugosidade. Criogenia.

**Abstract.** During stainless steel machining procedures, changes in the zone resulting from the machining can be identified when previously submitted to surface testing or mechanical requests. This current work analyzes the surface finish of AISI 410 stainless steel when submitted to machining tests in specimen submitted to external lathe procedures, using cutting speeds based on High Speed Cutting (HSC), being superior to 1000 m/min and cooling with hydrogen in the shape/machine interface. The conditions of advance used were of 0.03 and 0.06 mm/rot, as well as the radius of the tip of the tool being 0,4 and 0,8 mm, combined between samples. Surface roughness tests allow verifying the finish on different machining conditions. The results showed a low surface roughness index for the cooled condition, using smaller advance and bigger tool point radius, when maintaining cutting conditions, however without cooling, the indexes rose, showing positive hold of cooling when high rotation machining. The final article objective is reached by identifying the machining conditions that interfere the least with surface roughness of the shaped submitted to the machining tests.

**Keywords:** Machining, Roughness, Cryogenics.

### 1. INTRODUÇÃO

Os processos de manufatura por usinagem são considerados os mais utilizados na indústria atualmente. Por conta disso, atualmente dá-se ênfase ao estudo de desgaste de ferramentas, integridade superficial e uso de técnicas que auxiliem o processo de confecção de peças. Baseado na afirmação de Dacas (2020) e em seu trabalho que realizou a análise de rugosidade em aços inoxidáveis austeníticos, é possível verificar que na usinagem a seco (ausência de meios lubrificantes), é possível identificar que raios de ponta de ferramenta proporcionam índices de rugosidade inferiores para todos os tipos de variações de avanço de ferramentas e velocidades de corte. Entretanto, o processo de adesão do material na ferramenta durante a usinagem por torneamento de aços inoxidáveis martensíticos é conhecido, e principalmente o desgaste da ferramenta proporcionado pelo calor gerado na região de corte, o que pode influenciar na integridade superficial da peça usinada (Marques, 2021).

A usinagem criogênica é uma alternativa para a redução da propagação do calor gerado entre a região secundária de

cisalhamento da ferramenta, e que interferem na região terciária de cisalhamento, a qual acaba sendo a superfície final de uma peça submetida ao processo de usinagem. Interferência esta, originada pela dificuldade de escoamento do cavaco pela superfície da ferramenta, e que acaba sendo forçada sobre o gume da ferramenta, formando o gume posticho, que prejudica o processo de remoção do material (DACAS, 2020).

A aplicação de método de alta velocidade de corte, doravante denominado *High Speed Cutting* (HSC), tem como objetivo diminuir o processo de troca de calor do cavaco com o meio, desta maneira proporcionando a fragilização do cavaco de maneira mais incidente, sendo possível perceber na integridade superficial de peças quando submetidas ao processo. Dependendo do processo, a velocidade de corte considerada como HSC pode variar (Muller, 1999), conforme visto pela Fig. 1. No torneamento, a velocidade de corte considerada como faixa HSC é dada a partir de 700m/min.

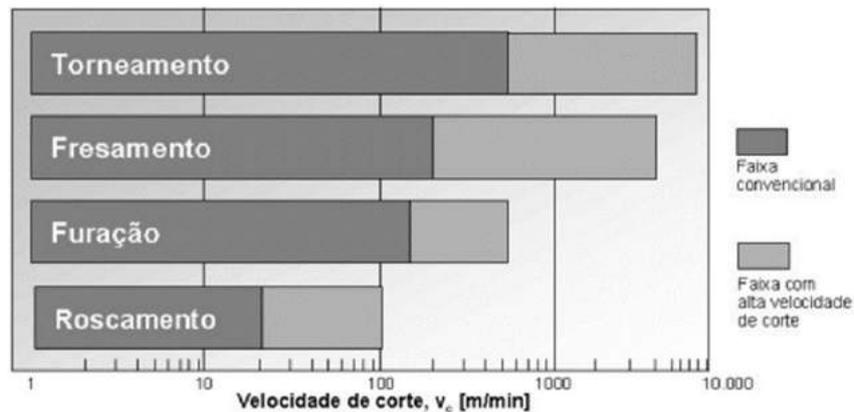


Figura 1. Velocidades de corte em função da operação

A principal característica da usinagem pelo método HSC pode ser visualizada pela Fig. 2, a qual representa que esse processo diminui a força de corte, aumentando o volume de material retirado e consequentemente obtendo melhor qualidade de acabamento superficial (Del Conte, 2008). No entanto, a vida útil da ferramenta diminui consideravelmente, por conta do desgaste gerado pela quantidade de calor presente na interface peça/ferramenta durante a usinagem.

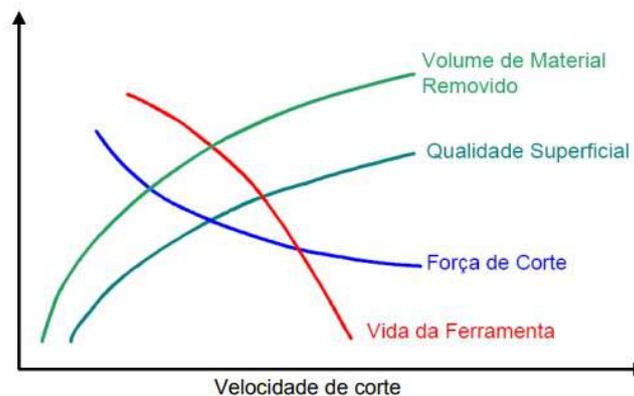


Figura 2. Características do HSC

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os corpos de prova, conforme modelo e dimensões ilustrados na Fig. 3, foram confeccionados em aço inoxidável AISI 410, em torno convencional marca Nardini modelo MASCOTE MS-205 com potência de 3,67 kW. Posteriormente, foi elaborada a programação de comando numérico computadorizado (CNC) para padronização dos testes, conforme os avanços utilizados em cada corpo de prova. A programação foi feita para um processo de torneamento externo cilíndrico, avançando 50 mm no comprimento, onde foi aplicado o incremento de 0,5 mm na profundidade de corte.

O torno CNC utilizado para realização dos testes foi desenvolvido em projeto de pesquisa decorrido da instituição, e pode ser visualizado pela Fig. 4. O suporte de torneamento, modelo MTJNR 2020 K08, portava um inserto de metal duro com geometria triangular, utilizada com raios de ponta de ferramenta de 0,4 e 0,8 mm, sendo suas identificações respectivamente TNMG 160404 e TNMG 160408. A rotação padronizada para os testes foi de 8642 rpm, aferida com um tacômetro e a velocidade de corte calculada foi de aproximadamente 1032 m/min.

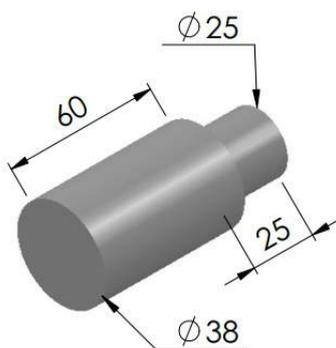


Figura 3. Corpo de Prova

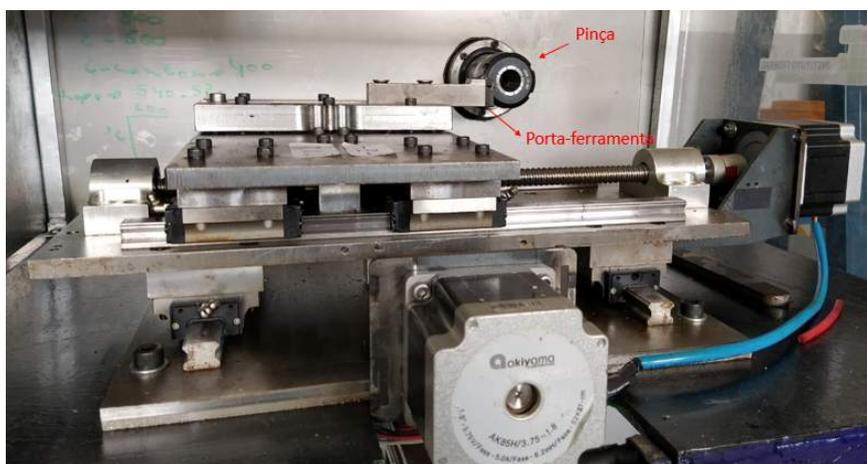


Figura 4. Torno CNC

Após o processo de torneamento de oito amostras, estas foram submetidas a medições de rugosidade, realizadas com o rugosímetro digital de contato da marca TIME, modelo TR-220, conforme mostra a Fig. 5, a fim de analisar o acabamento superficial dos corpos de prova após o ensaio.



Figura 5. Teste de Rugosidade Superficial

A análise foi realizada considerando três escalas de rugosidade: Ra, Rz e Rt. A rugosidade média (Ra), é definida sendo a média aritmética da amplitude dos valores obtidos na medição do comprimento da superfície em relação à linha de referência entre os picos e vales, enquanto o parâmetro Rz, corresponde à média dos cinco maiores picos e cinco maiores vales dentro do comprimento analisado. A rugosidade Rt corresponde à maior altura de pico/vale.

Foi realizada a colocação de um bico injetor para o jorro de nitrogênio na interface peça/ferramenta na máquina CNC, visualizado na Fig. 6. A pressão de trabalho para o nitrogênio foi de 0,152 MPa. Os testes de usinabilidade seguiram a combinação dos parâmetros de usinagem: avanço e raio de ponta de ferramenta, com presença ou não de refrigeração por nitrogênio, conforme indicação da Tab. 1.

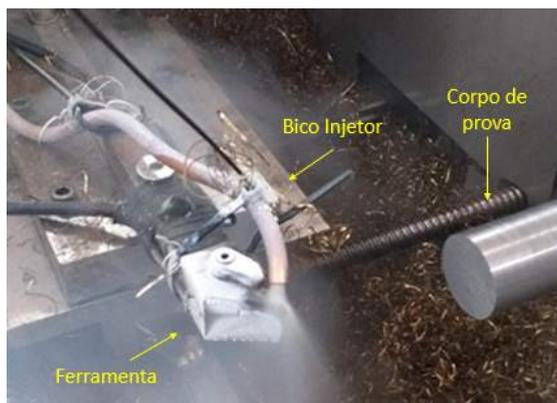


Figura 6. Ensaio de usinabilidade com presença de nitrogênio

Tabela 1. Parâmetros de usinagem dos corpos de prova

Corpos de Prova	Avanço (f)	Raio de Ponta de Ferramenta (Re)	Nitrogênio
A	0,06 mm/rot	0,8 mm	Não
B	0,03 mm/rot	0,8 mm	Não
C	0,06 mm/rot	0,4 mm	Não
D	0,03 mm/rot	0,4 mm	Não
E	0,03 mm/rot	0,4 mm	Sim
F	0,06 mm/rot	0,4 mm	Sim
G	0,06 mm/rot	0,8 mm	Sim
H	0,03 mm/rot	0,8 mm	Sim

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Coloração do cavaco

Durante os testes de usinabilidade, as principais diferenças visualizadas pelo cavaco retirado se baseiam na presença ou não de refrigeração, no entanto, observou-se que o cavaco formado foi contínuo, característica comum da usinagem sob pequenos avanços e altas velocidades de corte. Foi notória a diferença da coloração do cavaco dos corpos de prova com e sem refrigeração, sendo que a primeira condição apresentou coloração mais próxima do material bruto antes de ser usinado, e a segunda sendo mais azulada, indicando maior aquecimento, conforme visualizado pela Fig. 7.



Figura 7. Coloração do Cavaco

#### 3.2 Análise de Rugosidade Superficial

Com o ensaio de rugosidade, foi possível verificar o acabamento dos corpos de prova usinados em alta rotação em diferentes condições proporcionadas pela usinagem. A análise superficial é importante, pois as irregularidades possíveis

de surgirem na superfície usinada podem gerar acúmulo de tensões, que favorecem o surgimento e propagação de trincas, favorecendo a ruptura do material. O resultado do ensaio pode ser visualizado na Tab. 2.

Tabela 2. Resultados de Rugosidade

Corpos de Prova	Ra	Rz	Rt
A	4,1 $\mu\text{m}$	16,2 $\mu\text{m}$	30,9 $\mu\text{m}$
B	9,3 $\mu\text{m}$	42,6 $\mu\text{m}$	50,5 $\mu\text{m}$
C	5,6 $\mu\text{m}$	23,4 $\mu\text{m}$	28,3 $\mu\text{m}$
D	4,6 $\mu\text{m}$	25,8 $\mu\text{m}$	31,6 $\mu\text{m}$
E	3,3 $\mu\text{m}$	19,1 $\mu\text{m}$	24,6 $\mu\text{m}$
F	4,9 $\mu\text{m}$	25,7 $\mu\text{m}$	34,7 $\mu\text{m}$
G	5,5 $\mu\text{m}$	26,3 $\mu\text{m}$	31,2 $\mu\text{m}$
H	2,6 $\mu\text{m}$	11,9 $\mu\text{m}$	15,8 $\mu\text{m}$

Observou-se que a amostra "B" apresentou maiores valores de rugosidade em todas as escalas analisadas, enquanto a amostra "H" apresentou índices menores de rugosidade, também nas escalas Ra, Rz e Rt. Com isso, analisando os parâmetros de usinagem desses corpos de prova, foi possível identificar a relação proposta pela Eq. (1) que define a rugosidade (h) a partir dos valores de avanço (f) e raio de ponta da ferramenta (Re), o qual denota uma relação inversamente proporcional entre as grandezas.

$$h = \frac{f^2}{8 * Re} \quad (1)$$

#### 4. CONCLUSÕES

Após análise dos resultados do teste de rugosidade, em conjunto com os parâmetros de usinagem utilizados, foi possível observar que valores de avanço menores juntamente com raio de ponta da ferramenta maiores apresentaram baixos índices de rugosidade apenas para a condição refrigerada, enquanto as mesmas condições de corte, porém com ausência de refrigeração apresentaram índices mais elevados demonstrando a influência positiva da utilização do sistema refrigerado para usinagem em altas rotações.

Isso também ocorre, pois os aços inoxidáveis martensíticos possuem baixa usinabilidade, considerando sua dureza elevada, que exige maior esforço no momento de retirada do cavaco por conta da presença de partículas de carboneto de cromo (Diniz, 2008). Contudo, foi possível observar que embora a condição refrigerada seja favorável para o acabamento da peça usinada, a vida útil da ferramenta diminui consideravelmente, visto que dificulta a retirada de cavaco por conta da ausência do calor.

O objetivo final do trabalho é alcançado, diante da identificação dos parâmetros e condições de usinagem que menos interferem no acabamento superficial, bem como a rugosidade das peças submetidas aos testes de usinabilidade com e sem refrigeração.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Santa Catarina câmpus Chapecó pelo suporte necessário para a realização do trabalho.

#### 6. REFERÊNCIAS

- Dacas, Fernando e Costa, R., 2020. "Avaliação da refrigeração de corte criogênica na usinagem cnc do aço inoxidável martensítico aisi 420". *Caderno de Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia*, Vol. 2, No. 1, pp. 35–47.
- Del Conte, E.G., 2008. *Desenvolvimento de um sistema para monitoramento de dados em HSM (High Speed Machining)*. Master's thesis, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara do Oeste, Brasil.
- Diniz, A.E., 2008. *Tecnologia da Usinagem dos Materiais*. Artliber Editora, São Paulo, Brasil, 6th edition.
- Marques, F.M., 2021. "The influence of surface condition on the electrochemical properties of astm f138 steel for biomedical applications". *Materials Research*, Vol. 24.
- Muller, P e Soto, M., 1999. "Usinagem sem refrigeração de furos e roscas". In *Anais do Seminário Internacional de Alta Tecnologia*. Santa Bárbara do Oeste, Brasil.

#### 7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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