



ANÁLISE DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL DO AÇO INOXIDÁVEL DUPLEX USINADO EM TORNO CNC

Daniel Alves Bezerra, danielalvesb6@gmail.com¹

Francisco Evaristo Uchoa Reis, evaristo@ufersa.edu.br¹

Lucas de Almada Torres, lucas_f_almada@hotmail.com¹

Manoel Quirino da Silva Junior, manoel.quirino@ufersa.edu.br¹

Íngrid Heloisa da Silva Alves, ihsalves@uesc.br²

¹Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Av. Francisco Mota, 572, Bairro Costa e Silva, CEP 59625-900, Mossoró-RN

²Universidade Estadual de Santa Cruz, Rodovia Jorge Amado, Km 16, Bairro Salobrinho, CEP 45662-900, Ilhéus-BA

Resumo. Os aços inoxidáveis duplex são caracterizados por uma combinação interessante de boas propriedades mecânicas e resistência à corrosão e, portanto, são considerados bastante versáteis. Os atuais processos de usinagem visam associar os melhores parâmetros de usinagem com a ferramenta mais adequada, mantendo o controle sobre o estado da superfície usinada. Este trabalho tem como objetivo analisar a rugosidade superficial do Aço Inoxidável Duplex 2205 após o processo de usinagem em um torno CNC variando os valores de velocidade de corte, taxa de avanço e raio do canto da ferramenta de corte. Os valores médios de rugosidade foram medidos com um rugosímetro, comparados entre si e com valores teóricos calculados de rugosidade, além de regressão linear com o objetivo de observar quais dos parâmetros exercem maior influência. Entre os parâmetros, o que mais influenciou foi a taxa de avanço, enquanto a velocidade de corte teve pouca influência e o menor raio de ponta da ferramenta de corte resultou em valores mais constantes.

Palavras chave: Aço duplex, Usinagem, Torno CNC, Rugosidade da Superfície, Parâmetros de Corte

1. INTRODUÇÃO

Nos setores metalúrgico e similares, existe uma busca constante pelo controle da corrosão. Nesse contexto, o desenvolvimento dos aços inoxidáveis representa um grande avanço nessa busca (Davis, 1996). Os aços inoxidáveis duplex, AID, são um grupo de aços inoxidáveis com uma microestrutura de quase igual quantidade de austenita e ferrita. Estes materiais mostram uma combinação atraente de excelente resistência à corrosão e altas propriedades mecânicas em comparação com aços inoxidáveis austeníticos ou aços inoxidáveis ferríticos. Esta classe é caracterizada por uma microestrutura bifásica, composta por uma matriz de ferrita e ilhas de austenita, com frações volumétricas de aproximadamente 50% de cada fase (Generoso e Damin, 2014).

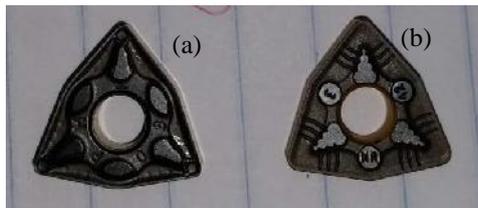
Para os processos de maquinação, é desejável o bom acabamento superficial. Isso é representado principalmente pela rugosidade, consiste num conjunto de irregularidades, que tendem a formar um padrão ou textura característicos numa superfície. Essas irregularidades estão presentes em todas as superfícies reais, por mais perfeitas que sejam, e muitas vezes constituem uma herança do método usado para obter a superfície (torneamento, fresamento, perfuração) (Amorim, 2014).

O objetivo deste trabalho é estudar a rugosidade do aço inoxidável duplex usinado em torno CNC com diferentes parâmetros de corte, especificamente a taxa de avanço e velocidade de corte, e utilizando dois diferentes tipos de pastilhas realizando uma análise comparativa entre eles.

2. METODOLOGIA

De início foi decidida a utilização de duas pastilhas de torneamento diferentes para permitir observar a influência da geometria da ferramenta de corte na rugosidade superficial. O parâmetro que diferencia as ferramentas selecionadas é o raio de ponta. As pastilhas de metal duro revestido utilizadas são mostradas na Fig. 1.

Figura 1. Ferramenta de corte 1 (a) e Ferramenta de corte 2 (b)



A Tabela 1 mostra o raio de ponta e as nomenclaturas das ferramentas de corte utilizadas neste trabalho.

Tabela 1. Especificações das ferramentas

	Ferramenta de corte 1	Ferramenta de corte 2
Raio de ponta (mm)	0,8	1,2
Nomenclatura	WNMG 080408-NR	WNMG433 NR

O material de trabalho escolhido para o presente estudo foi o Duplex Stainless Steel 2205, obtido por doação. O mesmo veio na forma de uma barra cilíndrica com um diâmetro de 36 mm. Um procedimento de torneamento foi realizado em um torno CNC tipo Centur 30D da marca ROMI. A Figura 2 mostra os detalhes da fixação do tarugo ao torno.

Figura 2. Tarugo fixado ao torno CNC (Autoria própria)



Dois corpos de prova foram preparados, um com cada ferramenta de corte, cada um sendo dividido em 12 amostras com ranhuras de 2 mm, a cada 18 mm no comprimento da barra, como mostra a Figura 3. O uso de 12 amostras em cada corpo de prova é justificado pelo fato de permitir maior facilidade na combinação dos diferentes parâmetros de usinagem utilizados.

Figura 3. Esquemático do corpo de prova na usinagem com a ferramenta 1

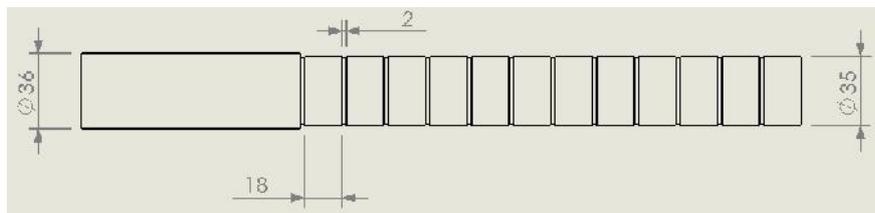
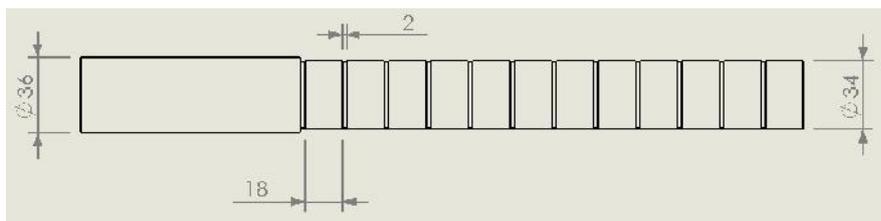


Figura 4. Esquemático do corpo de prova na usinagem com a ferramenta 2



No desenvolvimento deste trabalho, o comportamento da rugosidade superficial das amostras com torneamento longitudinal externo, com as combinações dos parâmetros de usinagem mostrados na Tab. 2, foi estudado e observado.

Tabela 2. Parâmetros de usinagem utilizados em cada amostra

Velocidade de corte (V_c) [m/min]	100	100	100	200	200	200	300	300	300	400	400	400
Avanço (f) [mm/rotação]	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3

Considerando 12 combinações diferentes de parâmetros de corte para cada ferramenta, temos o total de 24 amostras para o estudo realizado. Os valores de velocidade de corte e avanço foram escolhidos baseados nas instruções do fabricante da ferramenta. Para todas as amostras foi utilizada uma profundidade de corte constante de 0,5 mm. Conforme mostrado na Tab. 3, os ensaios foram realizados todos a seco. Existe uma tendência mundial na atualidade da redução da utilização dos fluidos de corte porque o manuseio de forma incorreta pode gerar resultados desagradáveis, que vão desde problemas no processo, geração de problemas de saúde dos operadores e também poluição ao meio ambiente (Ganier, 1993).

A rugosidade média R_a é o parâmetro que será utilizado para a superfície usinada, sendo o parâmetro utilizado internacionalmente para determinação da rugosidade, como mostrado pela Norma ISO 4287 (2002). O mesmo é definido como sendo matematicamente a integral do valor absoluto da altura do perfil de rugosidade ao longo do comprimento (L) da amostra (Machado et al. 2009). Na medição da rugosidade média R_a , foram realizadas medições em cinco pontos distintos de cada amostra, na direção longitudinal da barra. Este processo foi realizado para os dois corpos de prova usinados com as ferramentas 1 e 2. O rugosímetro Mitutoyo sj-210 foi utilizado. É um rugosímetro portátil para medir a rugosidade da superfície com ótima precisão.

O parâmetro R_a pode ser calculado de forma teórica, porém obtendo-se apenas um valor indicativo, já que o valor real é acrescido de diversos fatores, como vibração, desgaste das arestas de corte, entre outros. No processo de torneamento, se o avanço (f) é menor que o raio de ponta da ferramenta, o valor de R_a é calculado, de forma aproximada, pela Eq.1. (Geier et al., 2001).

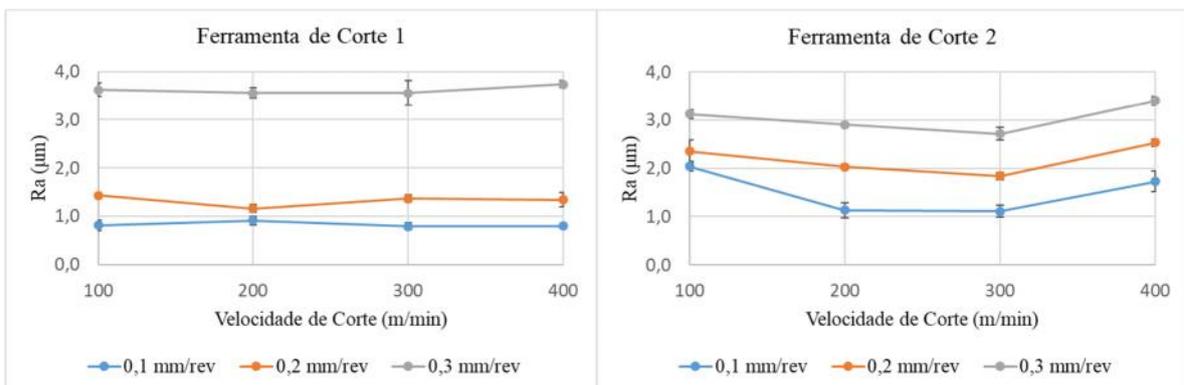
$$R_a = 32.075 \frac{f^2}{r_v} \quad (1)$$

Além da exposição dos resultados de rugosidade obtidos na forma de gráficos, para se chegar a um resultado mais representativo, foi realizada uma análise de regressão polinomial de segunda ordem. Essa análise permite observar-se a relação entre uma variável dependente e uma ou mais variáveis independentes. Neste estudo, a variável dependente é a rugosidade superficial (R_a), enquanto as variáveis independentes são a velocidade de corte (V_c) e o avanço da ferramenta (f). A análise de regressão dos resultados foi feita no programa Microsoft Excel com um nível de confiança do resultado de 95%.

3. RESULTADOS

Para melhor compreensão dos resultados obtidos, os valores de R_a em função dos diferentes parâmetros de corte utilizados. A Figura 4 mostra os resultados de rugosidade superficial obtidos para a ferramenta de corte 1 e para a ferramenta de corte 2, função da velocidade de corte V_c , onde cada linha representa uma taxa de avanço da ferramenta diferente.

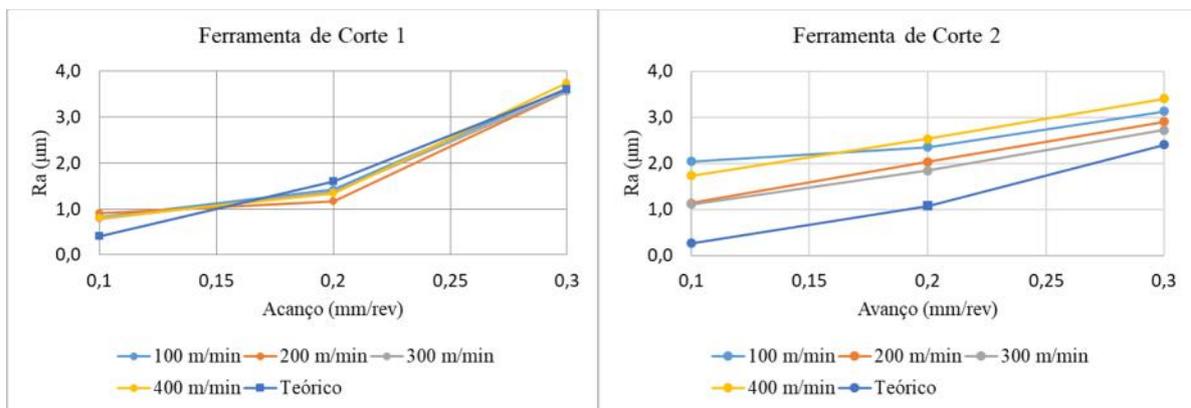
Figura 4. Curvas de rugosidade superficial x velocidade de corte obtidas para a ferramenta 1 (a esquerda) e Ferramenta 2 (a direita)



Pode ser visto na Fig. 4 que a rugosidade média pouco varia com o aumento da velocidade de corte. Isso indica que a velocidade praticamente não influencia a rugosidade de forma significativa para qualquer avanço na Ferramenta 1. Para a Ferramenta 2, no entanto, é notável que para as diferentes taxas de avanço, a rugosidade média diminui inicialmente com o aumento da velocidade, e depois aumenta quando atinge 400 m/min. Esse comportamento tende a ocorrer porque ela Ferramenta 2 possui um raio de ponta maior, que resulta em uma área maior de contato com o material que gera maior vibração, principalmente no impacto inicial onde a ferramenta e a peça entram em contato, gerando instabilidade (Geier et al., 2001). Para essa mesma ferramenta, podemos observar que para qualquer avanço temos um melhor acabamento na faixa de velocidade entre 200 e 300 m/min.

Na Figura 5, os mesmos resultados mostrados anteriormente agora são mostrados de forma que os valores de rugosidade da superfície medidos são mostrados em função da taxa de avanço f , onde cada linha representa um valor de velocidade de corte diferente. Foi incluída a linha para a rugosidade teórica encontrada através da Eq. (1), para as Ferramentas 1 e 2, respectivamente.

Figura 5. Curvas de rugosidade superficial x avanço da ferramenta CNC obtida para a ferramenta 1 (a esquerda) e Ferramenta 2 (a direita)



A Figura 5 mostra que para a Ferramenta 1 a rugosidade se comportou de forma semelhante para todas as velocidades de corte diferentes, além de crescer com o aumento da taxa de avanço. A linha que representa os valores teóricos está próxima das demais, mostrando que houve pouca influência de fatores não considerados na Eq. (1), como a vibração do processo. Para a Ferramenta 2, apesar de ocorrer um aumento da rugosidade média com o aumento da taxa de avanço, as linhas das diferentes velocidades estão mais espaçadas entre si, mostrando instabilidade. Percebe-se também que a rugosidade média teórica está significativamente melhor que as obtidas no procedimento de usinagem. Isso é provavelmente devido à maior vibração gerada na Ferramenta 2 causada por seu raio de ponta ser maior, causando mais vibração, como explicado anteriormente.

Para a regressão realizada com os dados obtidos de rugosidade, foram obtidas duas equações, uma para cada ferramenta de corte. Os resultados são mostrados na Eq. 2 e eq. 3 respectivamente.

$$R_{a_{ferramenta1}} = 2,4149 - 0,0022V_c - 22,611f + 89,75f^2 + 0,0026V_c f \quad (2)$$

$$R_{a_{ferramenta2}} = 2,8176 - 0,0159V_c - 2,3745f + 8,235f^2 \quad (3)$$

A Equação (2) mostra a regressão para a Ferramenta 1. O coeficiente relativo a V_c é notavelmente menor que os coeficientes relacionados à taxa de avanço da ferramenta f , mostrando que o valor médio da rugosidade superficial não é muito afetado pela taxa de cisalhamento V_c . Para a Ferramenta 2, a Eq. (3) mostra um comportamento semelhante dos coeficientes em relação à Ferramenta 1, porém percebe-se que os coeficientes relacionados à velocidade de corte são consideravelmente menores, provavelmente por causa da interferência de fatores externos como maior vibração, por razões mencionadas anteriormente.

4. CONCLUSÕES

No geral, a observação dos dados obtidos nos permite chegar a algumas conclusões, que são apresentadas a seguir:

- Percebe-se que a taxa de avanço da ferramenta exerce maior influência no valor de rugosidade superficial do aço inoxidável duplex do que a velocidade de corte durante usinagem em torno CNC. A velocidade de corte exerce influência mínima no valor da rugosidade média, como mostrado nos gráficos, pela regressão, e a Eq. 1.

- A ferramenta de corte com menor raio de ponta obteve valores mais estáveis, mais próximos do que se encontra teoricamente. Isso ocorre provavelmente por conta de menor vibração durante a usinagem por ter menor área de contato entre a ferramenta e a peça.
- A melhor qualidade superficial foi obtida com a seguinte combinação de parâmetros de entrada:
 1. Ferramenta 1 (Raio de ponta = 0,8 mm)
 2. Avanço $f = 0,1$ mm/revolução
 3. Velocidade de corte $V_c = 300$ m/min

3. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Universidade Federal do Semi-Árido pelo apoio financeiro.

4. REFERÊNCIAS

- Davis, J.R. Stainless Steel—ASM Specialty Handbook. (2.ed.) ASM International. EUA. p. iii, 1996
- Generoso, Daniel João; Damin, Keli Vanessa Salvador. Aços Inoxidáveis Duplex Visão geral: da história à metalurgia física. 2014. Artigo (Pós graduação em Ciência e Engenharia de Materiais)-Universidade Federal de Santa Catarina, [S. l.], 2014.
- Amorim, Heraldo José de. Estudo da Relação entre Velocidade de Corte, Desgaste de Ferramenta, Rugosidade e Forças De Usinagem Em Torneamento Com Ferramenta De Metal Duro. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia)-PROMEC, [S. l.], 2002.
- Ganier, M. Reciclar, eliminar e valorizar fluidos de corte. Tradução: Noberto P. Lima. Revista Máquinas e Metais. Editora Aranda. São Paulo, 1993.
- NBR ISO 4287. Especificações geométricas do produto (GPS) – Rugosidade: Método do perfil – Termos, definições e parâmetros da rugosidade. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2002.
- Geier, M.; Mello, M. S.; Souza, A. J. Comparação entre ferramenta alisadora e ferramenta convencional no torneamento de acabamento para aços baixocarbono e baixa liga. 2011. 10 f. Artigo—Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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