

OTIMIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DE CORTE NO PROCESSO DE FRESAMENTO DE TOPO DO AÇO INOXIDÁVEL DUPLEX UNS S32205 UTILIZANDO A FUNÇÃO DESIRABILITY

Harue Genghini Shibuta¹ (IC), Tarcísio Gonçalves de Brito (PQ)¹

¹ Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)

Palavras-chave: Aço Inoxidável Duplex, Fresamento de topo, Otimização, Rugosidade, UNS S32205

Introdução

O fresamento é um processo de usinagem que resulta em uma superfície plana, podendo também ser criada outras geometrias de acordo com a ferramenta e o projeto, caracterizado como uma das operações de usinagem mais versáteis e amplamente utilizadas em diversos materiais (GROOVER, 2010). Os aços inoxidáveis duplex possuem boas propriedades mecânicas mas são de difícil usinabilidade, dificultando o processo de fresamento (GAMARRA e DINIZ, 2018). Por essa dificuldade, muitos métodos estão sendo utilizados para chegar a um resultado satisfatório na característica e melhorar a qualidade do processo de fabricação utilizando o aço inoxidável duplex UNS S32205. O principal objetivo deste trabalho é analisar as variáveis de respostas Ra (Rugosidade Média) e Rt (Profundidade da Rugosidade) no processo de usinagem por fresamento de topo do aço inoxidável duplex UNS S32205 aplicando a Análise de Variância (ANOVA) e função desirability para a otimização das respostas.

Metodologia

Foi usado o aço inoxidável duplex UNS S32205 com insertos de material duro revestidos (Ti, Al) N + TiN pelo processo de deposição física de vapor (Physical Vapor Deposition – PVD). Em uma matriz experimental para um fatorial com 20 experimentos utilizando o Minitab 2018, para quatro fatores e quatro center points. Os parâmetros de entrada utilizados foram a velocidade de corte (v_c), avanço (f_z), profundidade do corte (a_p) e largura de corte (a_e). Os valores utilizados para a realização dos experimentos conforme Tabela 1.

Valores de entrada dos parâmetros

v_c [m/min]	f_z [mm/rot]	a_p [mm]	a_e [mm]
60 - 90	0,10 - 0,16	1,00 - 1,50	15,00 - 18,00

Tabela 1 - Valores de entrada dos parâmetros

Após a realização dos experimentos conforme matriz experimental, foi realizada a Análise de Variância para identificar quais variáveis mais influenciaram no processo. Para a otimização foi utilizada a função desirability para identificar melhor combinação das variáveis de controle e respostas.

Com o método desirability foi possível determinar o melhor ajuste do processo em uma otimização de múltiplas respostas. De acordo com Derringer e Suich (1980) a otimização irá depender de qual o tipo utilizado (maximização, normalização ou minimização). Para essa pesquisa foi utilizada a condição de minimização dos parâmetros das rugosidades para atingir o alvo de $D=1,00$, ou seja, quanto mais próxima do valor original das suas especificações (Pimenta *et. al*, 2015).

Resultados e discussão

A Análise de Variância (ANOVA) foi realizada utilizando o *software* Minitab e obteve-se os seguintes ajustes de (R(adj)) 98,56 R_a e 91,29% R_t . Conforme Tabelas 2 e 3 os resultados dessa análise mostram as principais variáveis de controle que contribuem para um bom ajuste do modelo e suas interações (dados em negrito).

Factorial Regression: Ra versus vc; fz ; ap ; ae ; CenterPt				
Analysis of Variance				
Source	DF	Adj SS	Adj MS	P-Value
Model	16	0,510548	0,031919	0,002
Linear	4	0,252126	0,063032	0,001
vc	1	0,001766	0,001766	0,123
fz	1	0,200682	0,200682	0,000
ap	1	0,041219	0,041219	0,002
ae	1	0,008459	0,008459	0,019
2- Way Interactions	6	0,176485	0,029414	0,002
vc*fz	1	0,156796	0,156796	0,000
vc*ap	1	0,004222	0,004222	0,046
vc*ae	1	0,001602	0,001602	0,135
fz*ap	1	0,009995	0,009995	0,015
fz*ae	1	0,003028	0,003028	0,068
ap*ae	1	0,000842	0,000842	0,237
3- Way Interactions	4	0,078221	0,019555	0,004
vc*fz*ap	1	0,008105	0,008105	0,020
vc*fz*ae	1	0,024017	0,024017	0,004
vc*ap*ae	1	0,018218	0,018218	0,006
fz*ap*ae	1	0,027881	0,027881	0,003
4- Way Interactions	1	0,001851	0,001851	0,117
Vc*fz*ap*ae	1	0,001851	0,001851	0,117
Curvatura	1	0,001865	0,001865	0,116
Error	3	0,001164	0,000388	
Total	19	0,511712		

Tabela 2 - Resultado da Análise R_a

Factorial Regression: Rt versus vc; fz ; ap ; ae ; CenterPt				
Analysis of Variance				
Source	DF	Adj SS	Adj MS	P-Value
Model	16	10,3416	0,64635	0,027
Linear	4	5,5280	1,38200	0,010
vc	1	0,3561	0,35611	0,072
fz	1	5,0659	5,06588	0,002
ap	1	0,0022	0,00219	0,845
ae	1	0,1038	0,10385	0,238
2- Way Interactions	6	3,7654	0,62757	0,030
vc*fz	1	3,6567	3,65670	0,003
vc*ap	1	0,0771	0,07715	0,295
vc*ae	1	0,0022	0,00219	0,845
fz*ap	1	0,0001	0,00008	0,971
fz*ae	1	0,0046	0,00459	0,778
ap*ae	1	0,0247	0,02473	0,525
3- Way Interactions	4	0,2859	0,07147	0,388
vc*fz*ap	1	0,1671	0,16708	0,159
vc*fz*ae	1	0,0626	0,06263	0,337
vc*ap*ae	1	0,0157	0,01569	0,608
fz*ap*ae	1	0,0405	0,04050	0,426
4- Way Interactions	1	0,3390	0,33902	0,077
Vc*fz*ap*ae	1	0,3390	0,33902	0,077
Curvatura	1	0,4233	0,42326	0,059
Error	3	0,1442	0,04806	
Total	19	10,4858		

Tabela 3 - Resultado da Análise R_t

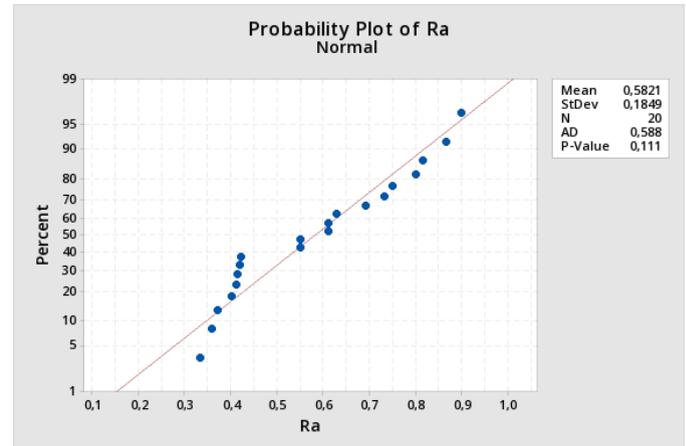


Figura 1 - Gráfico de Probabilidade de R_a

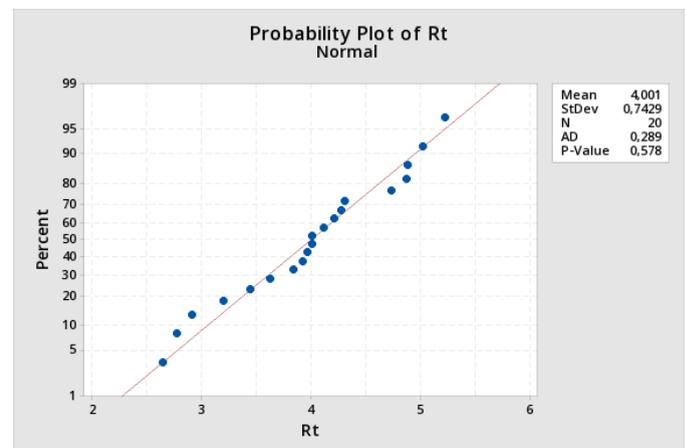


Figura 2 - Gráfico de Probabilidade de R_t

O método desirability está baseado no cálculo do índice global D. O objetivo da otimização é minimizar a variável de resposta, o cálculo de d_i e D foi realizado conforme Equação 1:

$$(1) \quad D = [d_i(Y_i)]$$

Com aplicação do método resultou em um valor previsto de 0,3601 para R_a e 2,6510 para R_t . Desirability individual de 0,9521 R_a e 1,000 para R_t , e composta de 1,000 mostrando que é um valor ideal. Após aplicação do método, foi estabelecido a configuração ótima dos parâmetros de entrada codificados, para velocidade de corte (v_c) igual a 90 [m/min], avanço (f_z) igual a 0,10 [mm/rot], profundidade de corte (a_p) igual a 1,50 [mm], largura de corte (a_c) igual a 18,00 [mm], conforme Figura 3.

A fim de verificar se os resíduos seguem uma distribuição normal, foi realizado o teste de normalidade de Anderson Darling. O P-Value foi 34,7% para R_a e 57,8% para R_t , portanto, isso permite afirmar que os resíduos são normalmente distribuídos por estarem maior que o nível de significância de 5%, conforme Figuras 1 e 2.

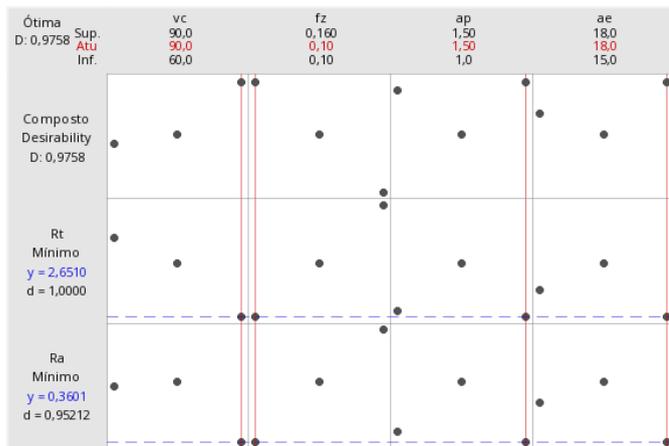


Figura 3 - Otimização pelo método desirability

Conclusões

Esta pesquisa mostrou que é necessário estar sempre realizando estudos e otimizações para identificar quais são as principais influências no processo e que podem interferir no resultado final esperado. O estudo apresentou análises que identificaram um valor previsto de Rugosidade Média (R_a) de 0,3601 e um valor de 2,6510 para a Profundidade da Rugosidade (R_t), um valor alto e que poderia ser minimizado se utilizar os valores de parâmetros ótimo apresentado no estudo da otimização pelo método Desirability, que estabeleceu a configuração ótima dos parâmetros, para minimizar as rugosidades, e que retornou a um valor próximo de 1, que representa o caso ideal do que se deseja. Além disso, com os dados obtidos observou-se que o avanço tem efeito direto no acabamento das peças fabricadas e é preciso estar atento aos valores da mesma para que se tenha produtos com melhores qualidades e acabamento, possibilitando, também, estudos futuros acerca da sua influência no processo de fresamento.

Agradecimento

À mineradora Vale S.A pelo apoio financeiro através do edital: UNIFEI/VALE S.A nº 01/2020, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), ao Grupo de Estudos em Qualidade e Produtividade (GEQProd) da Universidade Federal de Itajubá, campus de Itabira, Grupo de Pesquisa em Gestão Energética e Fabricação (InGED) campus Itabira, Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão de Itajubá (Fapepe) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo apoio para a realização deste trabalho.

Referências

- GAMARRA, J. R. AND 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, No 39.
- GROOVER, M. P., 2010, "Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems". John Wiley & Sons, Inc., 4th ed.
- HAN, H. H. Utilização da Função Desirability na Otimização do Processo de Usinagem Da Superliga.
- NIMONIC 80A. 2015. 65 f. Trabalho de Graduação. Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá.
- PIMENTA, C. D., SILVA, M. B., SALOMON, A. P., PENTEADO, R. B., GOMES, F. M.. 2015. Production. Aplicação das metodologias Desirability e Simplex para otimização das propriedades mecânicas em arames de aço temperados.